

# BEST AVAILABLE COPY

W 2552EN

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **2002250707 A**

(43) Date of publication of application: **06.09.02**

(51) Int. Cl.

**G01N 23/225**  
**G01N 23/04**  
**G01N 23/203**  
**G01R 31/28**  
**G01R 31/302**  
**G03F 1/08**  
**G03F 1/16**  
**H01L 21/027**  
**H01L 21/66**

(21) Application number: **2001361084**

(22) Date of filing: **26.05.93**

(30) Priority: **27.05.92 US 1992 889480**

(62) Division of application: **06124458**

(71) Applicant: **KLA INSTR CORP**

(72) Inventor: **MEISBERGER DAN**  
**BRODIE ALAN D**  
**DESAI ANIL A**  
**EMGE DENNIS G**  
**CHEN ZHONG-WEI**  
**SIMMONS RICHARD**  
**SMITH DAVE E A**  
**DUTTA APRIL**  
**ROUGH J KIRKWOOD H**  
**HONFI LESLIE A**  
**PEARCE-PERCY HENRY**  
**MCMURTRY JOHN**  
**MUNRO ERIC**

### (54) DEVICE AND METHOD FOR AUTOMATICALLY INSPECTING SUBSTRATE USING CHARGED PARTICLE BEAM

#### (57) Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a device and method for automatically inspecting a substrate using charged particles capable of performing the detection and classification of a flaw at a high speed.

**SOLUTION:** The automatic substrate inspection device is equipped with a radiation electron beam source for supplying electron beam, a charged particle control means having a deflection means for introducing electron beam to refract the same and sweeping the electron beam on the substrate, a detector for detecting the

charged particle beam generated from the substrate, an X-Y stage loaded with the substrate and continuously operated at least in one direction and the computer electrically connected to the detector and processing the signal from the detector to form image data of the certain part of the substrate and comparing the image data with reference image data to identify a flaw. Further, a vacuum system having first and second chambers is introduced so as to be made adjustable to a separate vacuum value independently and, during a period when the first substrate goes in and out of one vacuum chamber, the second substrate is inspected in the other vacuum chamber.

COPYRIGHT: (C)2002,JPO

書誌的事項 IPC Fターム 要約 請求の範囲 詳細な説明 産業上の利用分野 課題 手段 発明の効果 実施例 図面の簡単な説明 図面 書誌的事項の溢れ部分

I(19)【発出国】日本国特許庁(JP)  
(12)【公報種別】公開特許公報(A)  
(11)【公開番号】特開2002-250707(P2002-250707A)  
(43)【公開日】平成14年9月6日(2002. 9. 6)  
(54)【発明の名称】荷電粒子ビームを用いた自動基板検査の装置及び方法

↑ (51) 【国際特許分類第7版】

G01N 23/225  
23/04  
23/203  
G01R 31/28  
31/302  
G03F 1/08  
1/16  
H01L 21/027  
21/66  
  
【F I】  
G01N 23/225  
23/04  
23/203  
G03F 1/08  
1/16  
H01L 21/66  
G01R 31/28  
L  
H01L 21/30 502 V

【審査請求】有  
【請求項の数】88  
【出願形態】OL  
【全頁数】26  
(21)【出願番号】特願2001-361084(P2001-361084)  
(62)【分割の表示】特願平5-124458の分割  
(22)【出願日】平成5年5月26日(1993. 5. 26)  
(31)【優先権主張番号】889460  
(32)【優先日】平成4年5月27日(1992. 5. 27)  
(33)【優先権主張国】米国(US)  
(71)【出願人】  
【識別番号】593099528  
【氏名又は名称】ケーエルエー・インストルメンツ・コーポレーション  
【氏名又は名称原語表記】KLA INSTRUMENTS CORPORATION  
【住所又は居所】アメリカ合衆国、カリフォルニア州 95161 - 9055、サン・ホセ、ピー・オー・ボックス 49055、リオ・ローブルズ 160  
(72)【発明者】  
【氏名】ダン・マイス・バーガー  
【住所又は居所】アメリカ合衆国、カリフォルニア州 95120、サン・ホセ、モンタルバン・ドライブ 1507  
(72)【発明者】  
【氏名】アラン・ディー・ブローディー  
【住所又は居所】アメリカ合衆国、カリフォルニア州 94303、パロ・アルト、バン・オーケン・サーク

ル 998  
(72)【発明者】  
【氏名】アニル・エー・デサイ  
【住所又は居所】アメリカ合衆国、カリフォルニア州 95131、サン・ホセ、フォー・オークス・ドライブ 1703  
(72)【発明者】  
【氏名】デニス・ジー・エム・ゲ  
【住所又は居所】アメリカ合衆国、カリフォルニア州 95127、サン・ホセ、グリッドレイ・ストリート 951  
(72)【発明者】  
【氏名】ツォン - ウエイ・チエン  
【住所又は居所】アメリカ合衆国、カリフォルニア州 94306、パロ・アルト、アパートメント204、タマン・ドライブ 4260  
(72)【発明者】  
【氏名】リチャード・シモンズ  
【住所又は居所】アメリカ合衆国、カリフォルニア州 94022、ロス・アルトス、アルバード・アベニュー 44  
(72)【発明者】  
【氏名】デーブ・イー・エー・スミス  
【住所又は居所】アメリカ合衆国、カリフォルニア州 94403、サン・マテオ、キングリッジ・ドライブ 4022  
(72)【発明者】  
【氏名】エイプリル・ダッタ  
【住所又は居所】アメリカ合衆国、カリフォルニア州 95035、ミルピタス、パーク・グローブ・ドライブ 1151  
(72)【発明者】  
【氏名】ジェイ・カーク・ウッド・エイチ・ラフ  
【住所又は居所】アメリカ合衆国、カリフォルニア州 95112、サン・ホセ、エス・フォー・ティーンズ・ストリート 264  
(72)【発明者】  
【氏名】レスリー・エー・ボンファイ  
【住所又は居所】アメリカ合衆国、カリフォルニア州 94087、エズバイ、モーニングサイド・ドライブ 1295  
(72)【発明者】  
【氏名】ヘンリー・ピアース - バーンシ  
【住所又は居所】アメリカ合衆国、カリフォルニア州 95030、ロス・ガトス、スカイビュー・テラス 23415  
(72)【発明者】  
【氏名】ジョン・マクマートリー  
【住所又は居所】アメリカ合衆国、カリフォルニア州 94025、メンロ・パーク、コッポン・ストリート 650  
(72)【発明者】  
【氏名】エリック・マンロー  
【住所又は居所】イギリス国、エスタブリュ7、ロンドン、コーンウォール・ガーデン 14、フラット1  
(74)【代理人】  
【識別番号】100058479  
【弁理士】  
【氏名又は名称】鈴江 武彦 (外4名)  
I【タームコード(参考)】  
2G001  
2G132  
2H095  
4M106  
I【ターム(参考)】

W2552EH

2G001 AA03 AA09 BA07 BA11 BA15 CA03 FA06 GA01 GA13 HA13 JA02 JA03 JA13  
KA03 LA11 MA05 PA01 PA02 PA13  
2G132 AA00 AD15 AE16 AE22 AF12 AL09 AL11  
2H095 BA10 BD04 BD14 BD27  
4M106 AA01 BA02 CA39 DB05 DB20 DJ18 DJ20

#### 1. (57)【要約】(修正有)

【課題】欠陥の検出及び分類を高速で行うことができる、荷電粒子を用いた自動基板検査装置及び方法を提供すること。

【解決手段】電子線を供給する放射電子線源と、電子線を導入し屈折させて基板上に電子線を掃引させる偏向手段を有する荷電粒子制御手段と、基板から発生する荷電粒子線を検出する検出器と、基板を載せて少なくとも1方向に連続動作するX-Yステージと、検出器と電気的に接続しており、検出器からの信号を処理して、基板のある部分の画像データを生成し、参照画像データと比較して、欠陥を同定するコンピュータとを具備し、更に第1室と第2室を有する真空室を導入し、別の真空室に独立に調整出来る様にして、第1基板が一方の真空室に入出している間、第2の基板を他の真空室内に於て検査を実施する。

#### 1. 【特許請求の範囲】

【請求項1】基板の検査装置に於て、電子線をシステムに供給する電界効果型の放射電子線源と、該電界効果型放射電子線源から電子線を導入し、該電子線を屈折させて制御し基板上に電子線を掃引させる偏向手段を有する荷電粒子制御手段と、該基板から放射発生する3種の荷電粒子線、即ち、2次荷電粒子と後方散乱荷電粒子と透過荷電粒子、の少なくとも1つを検出する少なくとも1つの荷電粒子検出器と、該基板が荷電粒子にて掃引される間、該基板を載せて少なくとも1方向に連続動作するX-Yステージと、画像の欠陥を解析するコンピュータであって前記少なくとも1つの荷電粒子検出器と電気的に接続しており、前記少なくとも1つの荷電粒子検出器からの信号を処理して、前記基板の第1部分に対応する画像データを生成し、前記画像データを参照画像データと比較して、欠陥を同定する多重プロセスコンピュータとを具備し、更に第1室と第2室を有する真空室を導入し、それぞれ別の真空室に独立に調整出来る様に構成して、第1基板が2つの真空室の1に入出している間、一方第2の基板を他の真空室内に於て検査を実施出来る基板の自動検査装置システム。

【請求項2】請求項1の基板検査装置であって、該真空室は更に2つの空気ロックを有し2つの真空室が各々独立の可変する真空室になる環境を形成して、該第1及び第2基板が各々別の真空室を有する様に配備し、一方で第3の基板が検査を受けることが出来る様に配備してなることを特徴とする自動検査装置システム。

【請求項3】基板の検査装置に於て、電子線をシステムに供給する電界効果型の放射電子線源と、該電界効果型放射電子線源から電子線を導入し、該電子線を屈折させて制御し基板上に電子線を掃引させる偏向手段を有する荷電粒子制御手段と、該基板から放射発生する3種の荷電粒子線、即ち、2次荷電粒子と後方散乱荷電粒子と透過荷電粒子、の少なくとも1つを検出する少なくとも1つの荷電粒子検出器と、該基板が荷電粒子にて掃引される間、該基板を載せて少なくとも1方向に連続動作するX-Yステージと、画像の欠陥を解析するコンピュータであって前記少なくとも1つの荷電粒子検出器と電気的に接続しており、前記少なくとも1つの荷電粒子検出器からの信号を処理して、前記基板の第1部分に対応する画像データを生成し、前記画像データを参照画像データと比較して、欠陥を同定する多重プロセスコンピュータとを具備し、更に複数の真空室を導入し、各真空室は各々独立にその真空室を可変、即ち任意に調整出来る様に設定することによって、複数の異なる真空室を構築し、複数の基板の取込み、取出し、或いは検査を同時に実施せしめ、且つ直列的に進める基板の自動検査装置システム。

【請求項4】基板の自動検査装置システムに於て、該基板上に荷電粒子を入射し、荷電粒子を掃引する偏向手段を有する荷電粒子制御手段と、

基板から発する3種の荷電粒子、即ち2次粒子、後方散乱粒子と透過粒子との内、少なくとも1種の荷電粒子を検出する検出器と、入射する粒子に対して基板の位置を合わせる位置合わせ装置と、荷電粒子検出器と結合して、前記少なくとも1つの荷電粒子検出器からの信号を処理して、前記基板の第1の部分に対応する画像データを生成し、前記画像データを参照画像データと比較して、欠陥を同定する多重プロセス画像欠陥検査コンピュータとを具備し、更に各々別の真空室に独立に可変、且つ調整することが出来る第1室と第2室を有する真空系を導入し、第1基板の出入れを第1室と第2室の何れかに於て実行しつつ、一方、同時に第2基板は別の真空室で検査を実施することが出来る基板の自動検査装置システム。

【請求項5】請求項4の基板検査装置であって、該真空室は更に2つの空気ロックを有し2つの真空室が各々独立の可変する真空室になる環境を形成して、該第1及び第2基板が各々別の真空室を有する真空室に入る様に配備し、一方で第3の基板が検査を受けることが出来ることを特徴とする自動検査装置システム。

【請求項6】基板の自動検査装置システムに於て、該基板上に荷電粒子を入射し、荷電粒子を掃引する偏向手段を有する荷電粒子制御手段と、基板から発する3種の荷電粒子、即ち2次粒子、後方散乱粒子と透過粒子との内、少なくとも1種の荷電粒子を検出する検出器と、入射する粒子に対して基板の位置を合わせる位置合わせ装置と、荷電粒子検出器と結合して、前記少なくとも1つの荷電粒子検出器からの信号を処理して、前記基板の第1の部分に対応する画像データを生成し、前記画像データを参照画像データと比較して、欠陥を同定する多重プロセス画像欠陥検査コンピュータとを具備し、各々独立にその真空室を可変且つ調整出来る複数の真空室を構築し、この真空システムの真空室に基板の取込み、取出し、或いは検査を同時に実施せしめ、且つ直列的に進める基板の自動検査装置システム。

【請求項7】電子銃から電子線を放出せしめ検査基板表面に入射させる際に電子光学筒の中で基板から距離を置いて設置する静電偏向式対物レンズに於て、最も検査基板から遠くに設置する第1電極と、その第1電極に付する対物レンズと、検査基板に最も近い第3電極と、第1と第3の中間に位置する第2電極と、第1と第3電極に接続してしかも第3電極は第1電極に対して負の電気的バイアスを与えて成る第1の電気ポテンシャル調整回路と、第2電極と、第3乃至第1電極のいずれか1つの電極とに接続して成る第2の電気ポテンシャル調整回路と、を備えて検査基板上に実質的に無電界領域を形成することを特徴とする自動検査装置システム

【請求項8】請求項7の基板検査装置の為の静電偏向式対物レンズであって、更に磁界発生システムを具備し検査基板サンプルに対して磁界を印加する様にして成ることを特徴とする対物レンズ。

【請求項9】連続的に移動する検査基板表面を電子線が掃引する検査に於て、その画像コントラストを向上せしめ、画像の雑音を低減し、且つ基板の温度上昇を抑える為に、1) 基板の各瞬間に於ける動きに対して実質的に垂直な向きに電子線を掃引するステップと、2) 基板の各瞬間に於ける動きに対して実質的に平行な向きに電子線を回折するステップと、3) 斯くして基板の上下方向から放射される3種の即ち、2次荷電粒子、後方散乱荷電粒子及び透過型荷電粒子の内、少なくとも1種の荷電粒子を検出するステップと、4) 上記ステップ3)で検出された情報をを用いて基板上の欠陥を同定するステップと、5) ステップ1)と2)を必要だけ繰り返すステップと、を有することを特徴とする絶縁性基板の自動検査方法。

【請求項10】請求項9の基板検査方法に於て、ステップ2)は電子線の電子速度を減速するために逆向きの電界を印加するステップを含む絶縁性基板の自動検査方法。

【請求項11】請求項9の基板検査方法に於て、電子線のエネルギーが、500ボルトと1,500ボルトの間に設定して成る絶縁性基板の自動検査方法。

- 【請求項12】基板の検査方法に於て、  
1)該基板を第1群の電子線にて照射することに依って基板からの電子放射を起させるステップと、  
2)該基板を第2群の電子線にて照射することに依って基板表面の該電子放射で誘起された帯電電荷を減らすステップと、  
から成る基板の自動検査方法。  
【請求項13】請求項12に示した基板の検査方法に於て、  
該基板が半導体ウェーハから成る自動検査方法。  
【請求項14】請求項12に示した基板の検査方法に於て、  
該基板が絶縁領域を含む基板から成る自動検査方法。  
【請求項15】請求項12に示した基板の検査方法に於て、  
放射された電子を検出することを特徴とする検査方法。  
【請求項16】請求項15に示した基板の検査方法に於て、  
放射された電子が2次電子で構成されることを特徴とする検査方法。  
【請求項17】請求項15に示した基板の検査方法に於て、  
放射された電子が後方散乱電子で構成されることを特徴とする検査方法。  
【請求項18】請求項12に示した基板の検査方法に於て、  
第1群の電子線は基板に入射する電子線にて構成されることを特徴とする検査方法。  
【請求項19】請求項12に示した基板の検査方法に於て、  
第2群の電子は基板から発生する電子であって基板近くの電極の作用に依って基板に帰帰する様にすることを特徴とする検査方法。  
【請求項20】請求項12に示した基板の検査方法に於て、  
基板が電荷的に平衡状態にある如く第1電子群と第2電子群を組合わせるとを特徴とする検査方法。  
【請求項21】請求項20に示した基板の検査方法に於て、  
統計的画像処理が最適化される様に該平衡状態を設定することを特徴とする検査方法。  
【請求項22】請求項20に示した基板の検査方法に於て、  
該平衡状態は基板の局所的なトポグラフィ特性と素材の違いに依って影響される様にすることを特徴とする検査方法。  
【請求項23】請求項20に示した基板の検査方法に於て、  
表面に堆積する電荷が電氣的ポテンシャルを形成し、それに依って入出電荷量が平衡状態を保つ様にすることを特徴とする検査方法。  
【請求項24】請求項12に示した基板の検査方法に於て、  
帯電現象は基板表面からの電子放射量が第1群電子線の入射量より実質的に大であることを特徴とする検査方法。  
【請求項25】請求項15に示した基板の検査方法に於て、  
検出された電子がもたらす信号を電氣的に処理するステップを更に加えることを特徴とする検査方法。  
【請求項26】請求項25に示した基板の検査方法に於て、  
検出された信号を処理するに際して、基板上の欠陥を検出する為にその信号を基準信号と比較することを特徴とする検査方法。  
【請求項27】請求項26に示した基板の検査方法に於て、  
該基準信号は基板上にあって対応する1部分の画像の信号であることを特徴とする検査方法。  
【請求項28】請求項26に示した基板の検査方法に於て、  
基準信号は基板を設計する際に得られたデータベースそのものを使うことを特徴とする検査方法。  
【請求項29】請求項12に示した基板の検査方法に於て、  
第1電子線群は大きな入射エネルギーを有することを特徴とする検査方法。  
【請求項30】請求項12に示した基板の検査方法に於て、  
第2電子線群は小さな入射エネルギーを有することを特徴とする検査方法。  
【請求項31】請求項12に示した基板の検査方法に於て、  
第2電子線群は基板に対して焦点を外した電子線であることを特徴とする検査方法。  
【請求項32】請求項12に示した基板の検査方法に於て、  
第2電子線群は基板と電子銃との中間点に設置した中間電極の作用で以て発生させることを特

- 徴とする検査方法。  
【請求項33】基板の検査装置に於て、  
少なくとも50ナノメートル幅の電子線を発生させる電子線源と、  
電子線に掃引動作を与えて導き荷電粒子線を基板に入射せしむる為の電子的光学筒と、  
電子線の掃引動作に依って基板から発生する電子を検出する検出器と、  
検出された情報を得てデータ処理を行い基板の画像特性を知る画像プロセッサと、  
を具備して成る自動検査装置システム。  
【請求項34】請求項33に基づく基板の検査装置に於て、  
電子光学筒は荷電粒子線流を以て構成せしめ、開口部を設置して電流値と電子線径を制御することを特徴とする検査装置システム。  
【請求項35】請求項33に基づく基板の検査装置に於て、  
電子線源は、少なくとも50ナノメートルの電子ビーム幅を有する様に配備して成る検査装置システム。  
【請求項36】請求項35に基づく基板の検査装置に於て、  
電子線源はそのビーム幅が50から2000ナノメートルの範囲に入る様に設定して行う検査装置システム。  
【請求項37】請求項33に基づく基板の検査装置に於て、  
画像プロセッサコンピュータは、2つの別々の位置にある画像比較の為に更に1つの画像プロセッサコンピュータを含むに、各々別の位置に在るパターンの画像の違いを認識して欠陥を同定し、基板上でその2つの欠陥の位置を決める様にして成る自動検査装置システム。  
【請求項38】請求項33に基づく基板の検査装置に於て、  
基板はフォトマスクである検査装置システム。  
【請求項39】請求項33に基づく基板の検査装置に於て、  
基板は生産中のウェーハである検査装置システム。  
【請求項40】基板の検査装置に於て、1ステリジアン(立体角)当り1ミリアンペアを超える輝度を有する高輝度電子線源と、  
電子線を基板上に入射せしめその掃引動作を実施する為の電子的光学筒と、  
電子線の掃引動作に依って基板から発生する電子を検出する検出器と、  
検出された画像の特性を調べて基板の特徴を知る画像プロセッサと、  
を具備して成る自動検査装置システム。  
【請求項41】請求項40に基づく基板の検査装置に於て、  
電子線は少なくとも50ナノメートル幅の検査領域を基板上に選定することを特徴とする自動検査装置システム。  
【請求項42】請求項41に基づく基板の検査装置に於て、  
電子線は基板上に少なくとも50乃至2,000ナノメートル幅の検査領域を選定する様に配備することを特徴とする自動検査装置システム。  
【請求項43】基板の検査装置に於て、  
少なくとも50ナノメートル幅の電子線を発生する電子線源と、  
電子線を基板上に入射せしめその掃引動作を実施する為の電子的光学筒と、  
電子線の掃引動作に依ってステージに固定設置された基板から発生する電子を検出する検出器と、  
検出された電子に依って基板の特性を調べて基板の特性を決定するプロセッサと、  
ステージ位置に関するフィードバック情報を受けて電子線の位置ズレを補正するサブシステムと、  
を具備して成る自動検査装置システム。  
【請求項44】請求項43に基づく基板の検査装置に於て、  
更にステージ位置を追跡する干渉計を包含することを特徴とする自動検査装置システム。  
【請求項45】基板の検査装置に於て、  
電子線を発生する電子線源と、  
電子線を基板上に入射せしめその掃引動作を実施する為の電子的光学筒と、  
電子線の掃引動作に依って基板から発生する電子を検出する検出器と、  
検出された電子の画像信号から基板の画像特性を解析し結果をデータベースに由来する画像情報と比較し、その間の不一致要素を摘出して欠陥を探知するプロセッサと、  
を具備して成る自動検査装置システム。  
【請求項46】請求項45に基づく基板の検査装置に於て、

電子線は基板上に少なくとも50ナノメートル幅の検査領域を選定する様に配備することを特徴とする自動検査装置システム。

【請求項47】請求項46に基づく基板の検査装置に於て、電子線は基板上に少なくとも50乃至2,000ナノメートル幅の検査領域を選定する様に配備することを特徴とする自動検査装置システム。

【請求項48】請求項45に基づく基板の検査装置に於て、該データベースはCAD(コンピュータ)に支援させて行う設計)に基づくデータベースであって検査基板上のパターンをレイアウトする為に用いた情報を包含することを特徴とする自動検査装置システム。

【請求項49】請求項45に基づく基板の検査装置に於て、基板はフォトマスクである自動検査装置システム。

【請求項50】請求項45に基づく基板の検査装置に於て、基板は生産中のウェーハである自動検査装置システム。

【請求項51】請求項45に基づく基板の検査装置に於て、該プロセスは位置合わせプロセスを包含し、実際の基板のデジタル画像とデータベースの画像情報との位置ズレを検出してその結果を基に位置合わせを実施する様に於て成る自動検査装置システム。

【請求項52】帯電量を少なく制御する絶縁基板の検査方法に於て、

- 1) 複数のスワス、即ち帯状の走査領域当りに電子線が打ち込む帯電量を調整しつつ複数のスワスを電子線に依って検査を実行するステップと、
- 2) 正確な位置合わせと、且つ、正確な重ね合わせが共に実行出来る様に、基板上で繰返すパターンについて電子線で掃引し特性を調べるステップと、

3) 繰返すパターンに依って検査を加重平均操作を加えて信号のコントラストを最大にするステップと、から成る絶縁性基板の自動検査方法。

【請求項53】請求項52に示した基板の検査方法に於て、該検査実行ステップに於ては複数のスワス、即ち帯状の走査領域を検査するに当って打ち込まれる帯電量を最小にする様に調整することを特徴とする基板の自動検査方法。

【請求項54】請求項52に示した基板の検査方法に於て、該パターンの画像特性を得るのに画面数2個乃至256個を用いて繰返し加重平均操作を実行し算出することを特徴とする基板の自動検査方法。

【請求項55】請求項54に示した基板の検査方法に於て、画面サイズは、512乃至4,096個のピクセルで以て成り立つことを特徴とする基板の自動検査方法。

【請求項56】請求項52に示した基板の検査方法に於て、基板がフォトマスクであることを特徴とする自動基板検査方法。

【請求項57】請求項52に示した基板の検査方法に於て、基板が生産中のウェーハであることを特徴とする自動基板検査方法。

【請求項58】基板欠陥分類装置に於て、高エネルギー並びに低エネルギー電子線をどちらにも発生する1つの電子線源から電子線を供給出来るサブシステムと、高、或いは低エネルギーの電子線を基板上に入射せしめその掃引操作を実施する為の電子的光学筒と、高、或いは低エネルギーを有する電子線のどちらか1種の電子線の掃引動作に依って基板から発生する電子を検出する検出器と、検出された電子に依る画像信号を入力して基板の画像特性を解析するプロセッサと、を具備して成る基板欠陥検査システム。

【請求項59】基板検査装置に於て、電子線を発生する1つの電子線源と、その電子線を基板上に入射せしめその掃引操作を実施する為の電子的光学筒と、電子線と上記の電子的光学筒を包み込んで成る真空容器と、酸化性プラズマをその真空容器に供給するサブシステムと、電子線の掃引動作に依って基板から発生する電子を検出する検出器と、検出された電子に依る画像信号を入力して基板の画像特性を解析するプロセッサと、を具備して成る自動基板検査システム。

【請求項60】請求項59に記述する基板検査装置に於て、該電子的光学筒の清浄化をするための操作に酸化性プラズマを使用することを特徴とする自動基板検査システム。

【請求項61】請求項59に記述する基板検査装置に於て、該検査基板の清浄化をするための操作に酸化性プラズマを使用することを特徴とする自動基板検査システム。

【請求項62】熱的に敏感な絶縁性基板の検査方法に於て、

- 1) 複数のスワス、即ち帯状の走査領域当りに電子線が与える熱量を調整しつつ複数のスワスを電子線に依って検査を実行するステップと、
- 2) 正確な位置合わせと、且つ、正確な重ね合わせが共に実行出来る様に、基板上で繰返すパターンについて電子線で掃引し特性を調べるステップと、
- 3) 繰返すパターンに依って検査を加重平均操作を加えて信号のコントラストを最大にするステップと、から成る絶縁性基板の自動検査方法。

【請求項63】請求項62に記述する基板検査装置に於て、検査基板がフォトマスクである自動基板検査システム。

【請求項64】請求項62に記述する基板検査装置に於て、検査基板が生産中のウェーハである自動基板検査システム。

【請求項65】基板からデータを蒐集し且つデータ処理する方法に於て、

  - 1) 少なくとも一つの入射粒子線に基板を曝すことに依って、その基板から、少なくとも第1群と第2群の粒子を放射せしめるステップと、
  - 2) 第1検出器で以て第1の粒子を検出するステップと、
  - 3) 第2検出器で以て第2の粒子を検出するステップと、
  - 4) 少なくとも第1と第2の検出器とから蒐集したデータを処理することに依って検査基板上の欠陥の有無を決定するステップと、

から成る基板の自動検査方法。

【請求項66】請求項65に記述した基板検査方法に於て、データ蒐集と処理操作は基板の検査をすることを目的として行なわれることを特徴とする基板検査方法。

【請求項67】請求項65に記述した基板検査方法に於て、該基板は半導体ウェーハであることを特徴とする基板検査方法。

【請求項68】請求項65に記述した基板検査方法に於て、該基板はフォトマスクであることを特徴とする基板検査方法。

【請求項69】請求項68に記述した基板検査方法に於て、該フォトマスクは位相シフトマスクであることを特徴とする基板検査方法。

【請求項70】請求項65に記述した基板検査方法に於て、該粒子は電子であることを特徴とする基板検査方法。

【請求項71】請求項70に記述した基板検査方法に於て、該第1群の粒子は主に2次電子で構成されており、その第2群の粒子は主に後方散乱電子であることを特徴とする基板検査方法。

【請求項72】請求項65に記述した基板検査方法に於て、該第1群の粒子は第1の角度で放射され、そして第2群の粒子は、第1の角度とは異なる第2の角度で放射されることを特徴とする基板検査方法。

【請求項73】請求項65に記述した基板検査方法に於て、該第1群の粒子は第1の運動エネルギー値をもって放射され、そして第2群の粒子は、該第1のエネルギーとは異なる第2の運動エネルギー値にて放射されることを特徴とする基板検査方法。

【請求項74】請求項73に記述した基板検査方法に於て、該第1群と第2群の粒子は少なくとも1つのウィーンフィルターに依って互いに分けられていることを特徴とする基板検査方法。

【請求項75】請求項65に記述した基板検査方法に於て、該第1と第2の検出器は、基板に向く角度が互いに異なるように設置することを特徴とする基板検査方法。

【請求項76】請求項65に記述した基板検査方法に於て、データは次の、

  - 1) 基板の画像のピクセルのグレースケール(灰色段階)値、

2) 該ピクセル値の勾配、即ち位置に関する微分値、  
3) 該微分値の位相もしくは向き、  
4) 該微分値の包絡面の曲率値、  
以上4種のパラメータを算出しその1つ或いは複数を包含することを特徴とする基板検査方法。  
【請求項76】 請求項76に記述した基板検査方法に於て、  
データ処理操作は、直近のピクセル群を互いに比較して、それ等のピクセルが1つの欠陥に關与しているかどうかを決定することを特徴とする基板検査方法。  
【請求項78】 請求項77に記述した基板検査方法に於て、  
ピクセル群の中の各ピクセルを前もって決めた容認レベルと対比することを特徴とする基板検査方法。  
【請求項79】 基板からデータを蒐集してデータ処理をする装置に於て、  
1) 前記基板に入射せしめて、少なくとも第1と第2の粒子を基板から放射させる少なくとも1つの粒子線と、  
2) 第1の粒子を検出する第1の検出器と、  
3) 第2の粒子を検出する第2の検出器と、  
4) 少なくとも2つの該検出器から蒐集されたデータの処理をする処理装置と、  
を具備して、基板上の欠陥の有無を検知することを特徴とするデータ処理システム。  
【請求項80】 請求項79の装置に於て、  
基板が半導体ウエーハであることを特徴とするデータ処理システム。  
【請求項81】 請求項79の装置に於て、  
基板がフォトマスクであることを特徴とするデータ処理システム。  
【請求項82】 請求項81の装置に於て、  
基板が位相シフトフォトマスクであることを特徴とするデータ処理システム。  
【請求項83】 請求項79の装置に於て、  
該粒子が電子であることを特徴とするデータ処理システム。  
【請求項84】 請求項79の装置に於て、  
該第1粒子群は実質的に2次電子であり、且つ該第2粒子群は実質的に後方散乱電子であることを特徴とするデータ処理システム。  
【請求項85】 請求項79の装置に於て、  
該第1粒子群は第1の角度で放射され、且つ、該第2粒子群は第1とは異なる値の第2の角度で放射されることを特徴とするデータ処理システム。  
【請求項86】 請求項79の装置に於て、  
該第1粒子群は第1の運動エネルギーで以て放射され、且つ、該第2粒子群は第1とは異なる値の第2の運動エネルギーで以て放射されることを特徴とするデータ処理システム。  
【請求項87】 請求項86の装置に於て、  
該第1粒子群と第2粒子群は互いに少なくとも1つのウエーハホルダーでもって分けられていることを特徴とするデータ処理システム。  
【請求項88】 請求項79の装置に於て、  
該第1と第2検出器とは互いに異なる角度で該基板に向いていることを特徴とするデータ処理システム。  
1. 【発明の詳細な説明】  
【0001】  
1. 【産業上の利用分野】 本発明は、超小型電子回路の作成に使用される様々な種類の基板の自動検査、特に、X線リソグラフィに使用される光学マスクや半導体ウエーハの検査に關する。  
【0002】  
1. 【従来の技術と発明が解決しようとする課題】 超小型電子回路を適正な歩留りで生産するには、製造プロセスで使用するマスクやウエーハに欠陥があつてはならない。過去12年にわたつて光学マスクやウエーハの自動検査用に多くのシステムが開発され、特許されてきた(例えば、米国特許第4,241,203号、米国特許第4,805,123号、米国特許第4,618,938号、米国特許第4,845,558号参照)。これらのシステムでは、フォトマスク又はリソグラフィウエーハ上の二つの隣接するダイを相互に比較している、同様に、ダイをCAD(コンピュータ援用設計(Computer Aided Design))のデータベースと比較して検査する技術が開発されている(米国特許第4,926,487号参照)。しかしながら、X線マスクの欠陥は可相成いは紫外線ベクトルでは検出できないので、以上に例示したいす

れの光学システムも用途は光学マスクに限定されている。また、光学検査は本来的に生じる回折のために解像度に限界があるので、光学リソグラフィにも限界がある。位相シフトマスク技術を用いても、光学リソグラフィ技術では0.35ミクロン未満の線幅は達成できない。0.35ミクロン未満の線幅はX線リソグラフィ技術により達成できるものと期待されている。  
【0003】 走査型電子顕微鏡技術を用いてX線マスクや高密度のウエーハパターンを検査できるのではないかと期待されている。従来の電子顕微鏡を用いてX線マスクやウエーハを検査する実験が、最近各社で行われている。これらの実験では欠陥の検出に成功しているが、従来の電子顕微鏡では検査に時間がかかるだけでなく、高度に熟練したオペレータが必要である。従つて、このようなシステムで半導体を製造することは実際的でない。  
【0004】 本発明はスバツリングを防止する設備を備えたインジュチ(in-situ) プラズマ除去システムをも使用している。ローレンス・エフ・バクテリヤ等(Lawrence F. Bachterik et al)の米国特許第4,665,315号、「電子ビーム光学系のインジュチプラズマ除去のための方法と装置(Method and Apparatus for In-Situ Plasma Cleaning of Electron Beam Optical System)」に開示されているシステムは電子ビーム書き込み装置用であるが、スバツリングを防止する設備を備えていない。ここで、「インジュチ」とは、主プロセス実行とほぼ同じ条件で主プロセスに先行して、中断し或いは後続して稼働可能なことを意味する。  
【0005】  
1. 【課題を解決するための手段】 本発明の好ましい実施例として荷電粒子を走査して基板を自動検査する方法及び装置を以下に述べる。第1の実施例は基板の自動検査のための装置及び方法であり、基板表面に荷電粒子ビームを供給して走査する荷電粒子ビーム生成部と、基板の上表面或いは底面から流出する3種類の荷電粒子(即ち、二次荷電粒子、後方散乱荷電粒子、透過荷電粒子)の少なくとも一つを検出する検出手段と、荷電粒子ビームを基板表面に対して移動させる手段とを有している。  
【0006】 第2の実施例は、インジュチ、即ち主プロセス実行とほぼ同じ条件で主プロセスに先行して、中断し或いは後続して稼働可能なプラズマを用いた有機的汚染酸化するシステム手段と、プラズマを而起させる無線周波数発生手段と、選択した領域の圧力を調整してプラズマを形成する自動プラズマ調整手段とを有する電子ビーム検査装置である。  
【0007】  
1. 【作用及び発明の効果】 本発明により、荷電粒子ビームを用いてウエーハやX線マスクや基板などを製造現場で自動的に検査する検査装置を経済的に実現することができ、以下では電子ビームを用いて本発明を説明するが、別の種類の荷電粒子ビームを用いることもできるので、本発明の範囲は電子ビームに限定されるものではない。本発明は、ウエーハ、光学マスク、X線マスク、電子ビーム近接マスク、ステンシルマスクなどの検査に主に使用されるが、任意の物質の高速電子ビーム撮像に使用することができる他に、マスクやウエーハの製造でフォトリソストを露光するための電子ビーム露光機にも使用することができる。  
【0008】 基板が絶縁体か導電体かに応じて2つの基本的な動作モードがある。導電性であるか導電体で被覆されているX線マスク、電子ビーム近接マスク、ウエーハパトリルの検査には主に「高電圧モード」が用いられる。この場合、高電圧走査ビームを使用しても基板は帯電しない。一方、非導電性材料層を有する製造中のウエーハや光学マスクの検査には主に「低電圧モード」が使用される。低電圧走査ビームを使用することにより帯電や損傷を最小にすることができる。以上を相違を除けば、両モードはいずれも欠陥の検出及び分類を高速で達成する。  
【0009】 現在の走査型電子顕微鏡は走査速度が非常に遅く、通常の技能を越えた高度の技能を有するオペレータを必要とするので、経済的な観点から判断すると、現在の走査型電子顕微鏡を使用することはできない。  
【0010】 本発明の新規な特徴は、様々な種類の欠陥を検出できるだけでなく、欠陥の種類を識別できることにある。本発明では「高電圧モード」で後方散乱電子、透過電子、二次電子の検出及び識別を同時に実行できるので、欠陥を即座に分類できる。例えば、X線マスク上の透過検出器のみにより検出される欠陥は、恐らく吸収材料の裂け目であり、二次電子検出器では検出されるが後方散乱電子検出器では検出されない欠陥は有機粒子である可能性が高く、後方散乱電子検出器により検出される欠陥は原子量の大きい汚染物質の可能性が高い。X線マスク上の有機汚染物質のようなある種の欠陥はウエーハ上にリソグされないので、様々な種類の欠陥を識別できる能力は本発明の重要な利点である。このように本発明によれば、欠陥を検出することができるだけでなく、それらの欠陥を識別することができる。  
【0011】 本発明ではシステムを半導体の製造に適したものにするために多くの技術を使用してい



る。例えば、真空排気速度と真空から常圧に戻す加圧速度の両者を共に制限して気体の流れを層流の状態に保つことにより、汚染物質の飛散を防止している。また、これらの動作を他のサンプルの走査と同様に実行することにより、時間を節約している。この他に、タレットに6個の電界放出源を設けて無駄な時間を更に少なくしている。最後に、通常オペレータの操作により実行される電子ビームの主な調整はコンピュータにより実行されるので、比較的低い性能の低い者でも本発明のシステムを使用することができる。

【0012】

【実施例】図1には本発明の検査システム10の全体のブロック図が示されている。検査システム10はX線マスク、ウェーハ、その他の基板の自動検査装置であり、センサとして走査型電子顕微鏡を使用している。

【0013】この検査システム10は2種類の動作モード、即ち、ダイとダイとの比較モード及びダイとデータベースとの比較モードを有している。いずれのモードでも欠陥の検出は、基板の走査により得られる電子ビーム像を基準と比較することにより行われる。即ち、ダイとダイとの比較検査では、同じ基板の2つのダイからの信号が互いに比較される。ダイとデータベースとの比較検査では、電子顕微鏡から得られる一つのダイからの信号が、そのダイの作成に使用したデータベースからの信号と比較される。

【0014】検査対象である基板57はホルダに保持され、ホルダは電子ビーム生成部20の下、方のx-yステージ24に基板ハンドラ34により自動的に搬置される。この動作は次のようにして達成される。システム・コンピュータ36から基板ハンドラ34に命令が送られる。基板ハンドラ34は検査対象である基板57をカセットから取り出し、基板57に形成されている平らな部分又はノッチ59(図2ないし図6を参照)を自動的に検出して基板57を適切に方向付けてから電子ビーム生成部20の下に装填する。次に、オペレータが位置合わせ用光学系22を介して基板57を目視により観察しながら、基板の位置合わせ点を決め(基板の特徴を任意に選択して位置合わせ点とす)、ステージのx軸方向への移動が基板のパターンの検査領域のx軸と実質的に平行になるようにする。これで粗い位置合わせ作業が終る。

【0015】粗い位置合わせ作業に引き続いて、精密な位置合わせ作業が行われる。精密な位置合わせ作業は、オペレータが電子ビームで基板を走査し、画像デスプレイ46に現れる画像を観察しながら行われる。位置合わせに関連するデータは総てが位置合わせコンピュータ21に保存される。この位置合わせコンピュータ21は、システム・コンピュータ36と協調して作動し、ダイをx、yの両軸に沿って走査するのに必要な実際の複合x、y動作を計算する。従って、以後同一種類の基板上に同じオペレータが自ら位置合わせ作業をする必要はない。基板の精密な位置合わせ作業が終了すると、検査工程が開始される。

【0016】電子ビーム生成部20、位置合わせ用光学系22、アナログ偏向回路30、検出器32により、以下に詳述するように、電子ビームの基板57への入射、及び二次電子や後方散乱電子や基板57を透過する電子の検出が行われる。この検出動作とデータの収集は、電子ビーム生成部制御コンピュータ42、ビデオ・フレーム・バッファ44、画像収集ブリッジ48、偏向コントロール50、メモリ・ブロック52により行われる。VMEバス、即ち、符号29で示すVME1はサブ・システム間の通信リンクとして機能する。

【0017】基板57の検査中のx-yステージ24の位置と移動は、偏向コントロール50と、メモリ・ブロック52と、位置合わせコンピュータ21との制御の下で、ステージ・サーボ26及び干渉計28によって制御される。

【0018】ダイとデータベースとの比較モードの場合には、意図するダイ・フォーマットを表す信号の源として、メモリ・ブロック52と通信しているデータベース・アダプタ54が使用される。

【0019】実際の欠陥検出処理は、ポスト・プロセス58及び欠陥プロセス56によって、メモリ・ブロック52のデータについてなされる。ポスト・プロセス58と欠陥プロセス56との間の通信は、符号31で示すバスVME2を介してなされる。

【0020】全体のプロセスシステムの操作は、イーサネット・バス(Ethernet bus)に類似しているデータバス23を介して他のプロセスと通信を行いながら、システム・コンピュータ36、ユーザ・キーボード40、コンピュータ・ディスプレイ38によってなされる。イーサネットはゼロックス社の商標である。

【0021】図2にはダイとデータベースとの比較モードで検査を行う場合の本発明の走査の軌跡が示されている。図2には基板57上にダイ64が一個だけ示されている。このダイ64には検査すべき検査領域65が存在する。この検査領域65は基板57上に重要な情報が記録されている領域である。ダイ64の検査に当たって、x軸方向の有効走査移動は移動するx-yステージ24によりなされ、y軸方向の有効走査移動は偏向により電子ビームを図中符号60で示した走査領域の幅と同じ

じ振り幅で振ることによりなされる。電子ビームがダイ64の右側に達すると、x-yステージ24は電子ビームの振り幅未満の距離だけy軸方向に移動される。基板57のx-y座標系はx-yステージ24及び電子ビーム生成部20のそれぞれx-y座標系と正確に一致しないので、x-yステージ24の実際の移動と電子ビーム生成部20の実際のビーム偏向は、それぞれがダイ64の走査中にx-yの分力を有している。

【0022】検査領域65を十分に検査するために、検査は図示したように折れ曲がった軌跡62を描いて実行される。折れ曲がった軌跡62のうちのx軸方向の各軌道は、符号60で示した走査領域と同じ幅を有する走査領域であり、いずれも隣接する走査領域と値かに重なり合っている。

【0023】ダイとデータベースとの比較モードでは、各走査領域に対応する信号が、完璧なダイの対応する走査領域に関するデータベース・アダプタ54からのシミュレーションされた信号と比較される。この処理は、次のダイの検査に移行する前に、現在検査中のダイの検査領域65の各走査領域に対して繰り返される。

【0024】図3はダイとダイとの比較モードで検査する際の走査の軌跡を示すもので、基板57としては左から右にダイ68、70、66を有しているものを例示している。この検査モードでも、図2の例と同様に、折れ曲がった軌跡63を描いて検査が実行される。しかし、この検査モードはダイとダイとの比較モードであるので、x-yステージ24は、走査領域毎に3個のダイを横切るまでx軸方向に移動し続け、3個のダイを横切ってから初めてy軸方向に移動する。

【0025】この比較モードでは、ダイ68の第1の走査行程中で得られたデータはメモリ・ブロック52に記憶され、この記憶データがダイ70の第1の走査行程中に得られるデータと比較される。ダイ68とダイ70とを比較している時に、ダイ70のデータは、ダイ66の第1の走査行程で得られるデータと比較するためにメモリ・ブロック52に記憶される。次に、第2の走査行程に移行する。第2の走査行程は戻り走査行程なので、ダイを通過する順序は逆になり、ダイ66の第2の走査行程により得られるデータはダイ70から得られるデータとの比較のために記憶され、ダイ70から得られるデータはダイ68の第2の走査行程から得られるデータとの比較のために記憶される。この走査と比較の一連の動作を繰り返して基板57の検査領域全体を検査する。

【0026】多重走査統合技術により画像を得ることが必要なこともある。この場合、各ピクセルを長い時間隔で露光しなければならない。従来の走査顕微鏡ではビームが次のピクセルに移行する前のピクセル滞留時間の長いゆっくりにした走査技術が通常利用されている。ところが、基板の検査システムでは、基板の加熱及び帯電は好ましくないもので、ピクセルの記録速度が速いことは望ましくない。

【0027】多重走査統合して十分なコントラストを有する画像を得たり、画像の信号対雑音比を改善したりすることが必要な場合もある。信号対雑音比を改善するには、基板の同一位置を何回か走査して得られる信号値を各ピクセル毎に平均化する必要がある。「低電圧モード」(このモードについてはこのシステムの概略の「電子光学」の項で詳述する。)での画像のコントラストは、電子ビームが基板の特定のピクセルの位置に戻ってくる戻り期間にも基板を走査することにより改善することもできる。非導電性の基板の低電圧検査でのコントラストの改善は、「電子光学」の項で説明するように、ビームが戻ってくる間に、特定のピクセル位置の電子を近くの領域が定着された材料に生じる二次電子に置き換えることによっても達成することができ、更に、熱に弱い基板材料の場合には、ピクセル位置をビーム走査する時間間隔を設けてビームにより蓄積される熱を消散させるようにする。

【0028】図4は本発明が採用している走査方法の例を図式的に表したものである。この図には512×m個のピクセルから成る一連の長方形をビームの偏向により4回走査して信号を平均化させる方法が示されている。一連の長方形の各々の中心がステージの移動方向に沿ってm/2ピクセル個だけ移動する。

【0029】図4には本発明が信号の平均化、コントラストの改善、熱の消散のために採用している重積フレーム走査技術の例が示されている。図示の例では、各ピクセルが4回走査される。各走査ラインはy軸方向にピクセル数で512個の長さを持っている。重積フレーム走査のために、m個の横に並んだ一連のライン1~mが基板上で走査される。ライン間のx軸方向の間隔はピクセルの大きさに等しく設定されていて、各ラインは連続的にx座標が増大していく。

【0030】図5は図4に示した走査中におけるビームのx軸方向の公称偏向値を時間関数として図式的に表したものである。水平方向は時間軸であり、垂直方向はx軸上の位置である。

【0031】図5にはビームの偏向に使用しているx軸方向の偏向システムの階段状の出力が示されている。m個のラインの走査後に、図5に示されているように、走査はx軸方向に後退する。この偏向システムの下で基板を移動させるステージは、ビームがx軸方向に後退した時に、次の走

走ラインの位置が最初の $m$ 個のラインのライン数 $(m/4+1)$ に一致するように、 $X$ 軸方向の速度が調整される。この例では4回繰り返して走査するので、ビームが $512 \times m$ 個のピクセルから成る長方形を4回走査すると、ステージは基板を $X$ 軸方向に $m$ 個のピクセル幅の距離だけ移動させる。

【0032】図6は、図4に示した走査中における基板上のビームの $X$ 座標を時間の関数として図式的に表したものである。水平方向は時間軸であり、垂直方向はビームの $X$ 軸上の位置である。

【0033】図6には基板上の一連の走査ラインの各々の $X$ 座標が時間の関数として示されている。ここには、偏向システムの下で基板を移動させるステージと、走査ラインを偏向領域内の $X$ 軸方向に沿って前後に移動させる偏向システムとの組み合わせにより、ビームが基板上の各々の位置を4回走査することが示されている。画像データをメモリ・プロック52に記録し、適切なメモリ・アドレスからのデータを平均化することにより、平均化されたデータを欠陥プロセス56及び位置合わせコンピュータ21に供給することができる。この例では平均化の数として4を用いているが、実際に結合する走査回数とフレーム毎のライン数 $m$ は、雑音の減少、コントラストの強化、検出効率の最良の組み合わせを生成するように選択される。

【0034】ステージの移動方向に垂直な $X$ 軸方向の走査は1回の通過による撮像に用いる走査と同じである。ここでは走査は露出間隔毎にピクセル1個分だけ進む。512個のピクセル幅の走査領域を1回の通過で撮像するには、ステージの速度を $D/512$ に設定して、1回走査する毎にステージがピクセル1個分だけ進むようにする。通過を数回繰り返して撮像する場合には、基板がみえた走査ビーム $D/512$ は $n$ 個のピクセル毎秒の速度で進まなければ平方ピクセルを記録することができない。1回通過する毎に $n$ 個のピクセルを露出して画像を記録するには、ステージを $D/512 \times n$ 未満の速度でゆっくりと移動させなければならず、しかも走査時間512 $t$ の間に $(1-1/n)Dm$ クロンだけ余計にビームを進めて、ステージの移動方向に階段状に走査するようにしなければならない。可変数 $m$ 段後に、 $X$ 軸方向の走査が後退する。このようにして、走査軌道は $512 \times (1-1/n)m$ の矩形形状の多重露出の時間間隔は $512mt$ である。 $m$ を $n$ より大きく設定している限り、ピクセルの再走査の回数及び繰り返して走査の両者を自由に変更することができる。画像データをメモリ・プロック52に記録し、適切なアドレスからのデータを平均化することにより、平均化されたデータをあたかも一回のゆっくりとした通過で記録しているかのように、欠陥プロセス56に供給することができる。この技術の長所は、パラメータを調整してピクセル相互の露出時間を最適にすることができることである。

【0035】図3に戻ってダイとダイとの比較モードをより詳細に説明する。電子ビームがダイ68と70の走査領域を走査すると、図1に示す3種類の検出器33からの信号33が画像収集プリ・プロセス48に送られ、ここでデジタル信号に変換されてからメモリ・プロック52に記憶される。ダイ68、70からの両データが同時に欠陥プロセス56に送られ、ここで両データ間の重要な不一致が欠陥として指定される。次に、欠陥プロセス56からのデータを蓄積して、これがポスト・プロセス58に送られ統合される。ポスト・プロセス58は、欠陥のサイズと種々の特性を決定し、その情報をシステム・コンピュータ36がバス23を介して利用可能な状態にする。

【0036】ダイとステージのダイからの比較検出モードでは、システム10は上記と同様に動作するが、メモリ・プロック52が一つのダイからのデータを受信する点、欠陥プロセス56での比較のため参照データがデータベース・アダプタ54によって提供される点が異なっている。

【0037】基板全体が検査されると、欠陥のリストが欠陥の位置と共にコンピュータ・ディスプレイ8に表示される。オペレータはユーザ・キー・ボード40によって欠陥の調査を開始できる。この命令に応答して、システム10は各欠陥の周囲を走査し、その像をディスプレイ46上に表示する。

#### 【0040】電子光学

主要な幾つかの素子と電子ビーム生成部20の特別な設計との組み合わせによって、画像形成速度を約100倍以上に早めることができる。信号対雑音比の関係で走査速度には基本的制約があるので、画像形成速度を早めるにはビームの流れ (beam current) を高めることが必須不可欠である。本発明では高輝度高温領域放射源を用いてビームの角速度を高めることによりビームの流れを高めている。しかし、電子の密度が高くなるとクーロン相互に斥力が生じてしまうので、カソードの近傍に高電界を掛けて、ビームの径を急激に拡大させている。電子ビーム生成部では電荷密度を上昇させる電子の交差が生じないようにし、開口数を大きくしてクーロンの斥力の問題を少なくしている。

【0039】基板を例えば100メガピクセル毎秒の高速度で走査しなければ、検出器は連続して走査した2個のピクセルから生じる二次(リターン)電子の一時的な識別をすることができない。これ

は、各ピクセルの滞留時間に比べて到着時間にばらつきのないことが必要であることを意味している。電子がターゲットを離れたら、直ちに電子を加速することにより、各ピクセルの到着時間のばらつきを少なくすることができる。このような対策により検出器での到着時間のばらつきを約1ナノ秒以内に維持することができる。逆バイアスされた高周波ショットキー・バリア検出器を検出対象である電子の種類毎に用いれば、到着時間のばらつきを更に少なくすることができる。ショットキー検出器は単に例として示したのであって、他の種類の半導体検出器を使用してもよい。

#### 【0040】電子光学

電子光学サブ・システムは、機能的には走査型電子顕微鏡に似ており、走査電子ビーム・プローブと、二次電子、透過電子、後方散乱電子の検出素子とを基板表面の撮像用に有している。検査電子ビームが電子ビームが電子ビームの走査方向に垂直な方向に移動する。低電圧の二次電子か、高エネルギーの透過電子或いは後方散乱電子のいずれかがビデオ信号の生成に使用される。生成されたビデオ信号はデジタル化されて細長い走査領域像の形で記録される。この電子光学サブ・システムは、高解像度で自動的に欠陥を検出することができるだけでなく、新旧両面技術を組み合わせて検査に必要な解像度で雑音の少ない画像を高速度に得ることができる。

【0041】ビームは、典型的には、非常に高速度な5マイクロ秒周期ののこぎり波掃引を使用して、512個のピクセルから成るフィールド(18-100 $\mu$ m幅)を走査する。偏向は歪みを発生することがなく、表面にはほぼ垂直なので、撮像特性は走査フィールドで一律である。

【0042】検出効率が高いので、プローブからの電子により生じる二次電子のほぼ総てを画像形成に使用することができる。検出システムの帯域幅は、走行時間が短いのでピクセル速度に匹敵している。二次電子は共軸で抽出されるので、エッジが基板上でどのような方向を向いていようとも、エッジ形状の正確な画像が得られる。

【0043】図7は、光学システムの要素と、その機能を理解するために必要な関連する電源を示している。電子銃は、熱的電界放出カソード81と、放出制御電極93と、アノード・アパーチャ87を有するアノード85とから成る。カソード81は、電源89によって20KeVのビーム電圧に保持されている。カソード81の表面の電界強度に依存する放出量は、バイアス供給源91に接続されている電極83の電圧によって制御されている。電極83の電圧はカソード81の電圧に対して負である。カソード81は電流源93によって加熱される。カソード81の近くの磁気コンデンサ・レンズ95は電子ビームを平行にするために使用される。上部偏向器97は、位置合わせ(位置整合)、ステグマ・シジョン(無非点収差)、帰線消去のために使用される。この光学系には数個のホールからなるビーム制限アパーチャ99が更に設けられている。ビーム100は対物レンズ104の前に配置されている一対の静電気偏向器101、103により偏向されて、対物レンズ104の上方の一点の辺りで揺動する。対物レンズ104は下部レンズ極片106、中間電極107、上部レンズ極片105で構成されている。高電圧動作モードでは、対物レンズ104の上部レンズ極片105及び下部レンズ極片106だけを用いてプローブの焦点合わせが行われる。結局ビーム100ははるかに遠方で集束する状態で基板57上を走査される。従って、殆ど平行なビームが対物レンズ104により再度収束されて、1x倍に拡大されたビーム発生源の像が形成され、これが基板57を照らす。

【0044】高電圧二次電子撮像モードでは、対物レンズ104により二次電子が抽出される。x-y-zステージ24、基板57、下部レンズ極片106は電源111によって数百ボルトの電位にフロート・イングされている。その結果、二次電子はこのエネルギー状態に加速されて偏向器112、113を通過する。中間電極107は、電源115によってx-y-zステージ24に対して正にバイアスされている。この中間電極107は、基板57を離れた電子を直ちに加速すること、及び基板の欠陥領域から発生される二次電子を効率よく収集すること使用される。x-y-zステージ24と中間電極107との組み合わせにより、二次電子が二次電子検出器117に到達する時間のムラが実質的に除去される。二次電子はレンズ104を通過して再び後方に戻るが、帰還二次電子はウィーン・フィルタとして機能する偏向器113、112によって二次電子検出器117の方に偏向される。ここで、帰還ビームは二次電子検出器117のアノード118に接続された電源119により高エネルギー状態に再加速され、二次電子を増幅に充分なエネルギーレベルでショットキー・バリア固体検出器である二次電子検出器117に衝突させる。検出器ダイオード(二次電子検出器)117のアノード118は電源121により逆バイアスされている。検出器ダイオード117からの増幅信号は前置増幅器122に送られ、そこから図1の信号33の二次電子コンポーネントである高電圧帰線ファイバ光学リンク126を介して画像収集プリ・プロセス48及び関連電子回路に送られる。

【0045】部分的に透明な基板を検査できるように、透過電子検出器129がx-y-zステージ24の下に設けられている。透過電子は基板57を高エネルギーで透過するので、透過電子の再加速は不





て検出器に入射する。

【0057】磁界から離れる二次電子や後方散乱電子の放出量が一次ビームの電子の量よりも多い場合には、基板57は正に帯電し、中間電極107により形成される抑制電位壁のサイズが増大する。従って、エネルギーの低い二次電子はほとんどどが留まってしまう。表面電位は均衡するまで正に変化している。二次電子や後方散乱電子の放出量が一次電子の量よりも少ない場合には、表面は負に帯電し、中間電極107により形成される抑制電位壁が低くなる。従って、低エネルギーの二次電子が大量に放出される。表面電位は均衡するまで正に変化している。このような状況の下である期間が過ぎると表面電位が安定する。基板の領域内に一次電子ビームの強さが二次電子の強さと等しい状態が平均して得られるようにすることが重要である。

【0058】微細構成及び材料の相違が二次電子のエネルギー放射量に影響するので、基板の別の領域では平行電圧は変化する。しかしながら、平行であれば、二次電子の発生量は全領域で同一になる。即ち、平行状態で撮像した基板像にはコントラストは生じない。この問題を回避するために、ピクセル毎の照射量を低く抑え、必要があれば、先に述べた「多重フレーム走査」技術を用いて再走査して、好ましい画像統計を得るようにする。

【0059】走査の軌道間の時間を制御することにより、走査と走査との間に隣接領域で発生する電子により基板を中和することができる。この技法の重要な要素は、電界を制御する中間電極107と重複フレーム走査軌道である。

【0060】カソードの寿命が短くても電子銃の信頼性を高めることができるように、電子銃は、図9に示すように、高電圧にフロートされた六角形の回転タレット137上に設けられた6個のカソード制御電極アセンブリを有した構成にしている。各アセンブリは回転してアノード・アパーチャ87の真上へ移動して固定され、図7の適当な電源91、93と電気的に接続される。

【0061】図7でレンズの前に配置されている静電気偏向器101、103から成る静電気偏向システムは、高速度の線差偏向電圧によって駆動される全く同一の場を必要とすると、その構造は、モリミックなセラミック/メタル構成であり、エッチングされて20個の偏向プレートと形成されている。x-y-zステージ224の座標系と基板57の座標系とを一致させて走査をするには、両ステージの各々に4個の駆動装置が必要である。

【0062】容易に操作できるように自動調整機構が設けられている。レンズと偏向/スチグメーション素子と全高電圧供給源とは、いずれも図1に示した電子ビーム生成部制御コンピュータ42にインターフェースされているデータ収集制御システムの制御の下にある。ある機能を果たすために偏向比及び静電プレート電圧を調整するルーチンは電子ビーム生成部制御コンピュータ42に内在している。電子銃の制御及び調整はアナログ・デジタル・フィードバックを使用して放出量、アパーチャ通過量、電源供給量を設定する調整ルーチンにより修正された定格値に基づいている。

【0063】ビームの位置合わせは、レンズの透過流が変化したときに偏向を除去する他の公知のルーチンに基づいてなされる。この操作には2軸フレーム走査機能により撮像される特定のステッド・サンプリングが用いられ、位置合わせ及び検査に必要な画像分析能力も用いられる。焦点は基板の高さの変化を補償するために自動的に維持されるが、スチグメーションが検査の前になされ、これらのルーチンは、画像収集、フロップサ48及び関連電子回路による画像のコントラストと調和内容的な解析に基づいている。

【0064】高電圧モードで光学系が定格状態で動作している場合、本発明では20KeVのビーム・エネルギーでビームのスポット・サイズは300nmで0.05μmから1.000nmで0.2μmまで変化する。走査速度は、100メガ・ピクセル/秒で撮像される512個のピクセル走査フィールドを使用して5マイクログラ秒である。二次電子検出器117のダイオード電流増幅率は、5KeVで約1000倍から20KeVで5000倍である。0.05マイクログラ秒・メートルのスポットを使用して100メガピクセル/秒で約14%を超えるエッジ・コントラストのサンプリングの場合には、この範囲の動作状態を越えてシステム全体を動作させることができる。収集電子回路により複数本の走査ラインの累積化が可能なので、低コントラスト又は高解像度の画像を低帯域幅で記録することができる。

【0065】低エネルギーモードでは、上部レンズ極片105までのビーム・エネルギーは20KeVで、基板のビーム・エネルギーは800eVである。ビームの強さとスポット・サイズとの関係は25nAで0.05μm及び150nAで0.1μmである。走査期間と場のサイズは高電圧モードの時と同じである。後方散乱電子検出器160の増幅率は5000倍である。0.05マイクログラ秒・メートルのスポットを使用して100メガピクセル/秒で約20%を超えるエッジ・コントラストのサンプリングの場合には、この範囲の動作範囲を越えてこのシステムを動作させることができる。

【0066】欠陥フロセッサ

欠陥フロセッサ56は、ダイとダイとの比較検査の場合には、ダイ68から得られる画像データをダイ70から得られる画像データと比較し、ダイとデータベースとの比較検査の場合には、ダイ64から得られる画像データをデータベース・アダプタ54から得られるデータと比較する。欠陥フロセッサ56のルーチン及び基本的構成は、米国特許第4,644,172号に開示されている欠陥フロセッサのルーチン及び基本的構成とは同じである。米国特許第4,644,172号は1987年2月17日に発行されて、本出願の出願人に譲渡されたもので、発明者はサンランドその他であり、発明の名称は「自動ウェーハ検査システムの電子制御」である。この米国特許では欠陥を決定するのに3つのパラメータを使用しているが、本発明では4つのパラメータを使用している。

【0067】ダイとダイとの比較検査或いはダイとデータベースとの比較検査のどちらにも、データはメモリ・ブロック52から得られているか、(位置合わせの補正をどのようにして実行するかに応じて)位置合わせ後に位置合わせコンピュータ21から得られている。データの形式は検出器の種類毎にピクセル当たり6ビットである。欠陥フロセッサ56では、両データが入力される各検出器のピクセル毎に下記の4つのパラメータが決定される。

- 【0068】a. I:ピクセルのグレイスケール値
- b. G:グレイスケール・ピクセルの傾きの大きさ
- c. P:グレイスケール値の傾きの位相又は向き
- d. C:局所的な傾きの輪郭の曲率

グレイスケール値は、特定のピクセルに対するメモリ・ブロック52の単なる値である。傾きの大きさと傾きの方向は次のようにして得られる。まず、ソーベル演算子のxとyの成分を計算する。

【0069】

【数1】

$$S_x = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad S_y = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{pmatrix}$$

従って、傾きの大きさは $[(S_x)^2 + (S_y)^2]^{1/2}$ であり、方向は $\tan^{-1}(S_y/S_x)$ である。

【0070】曲率は以下のように定義される。

【0071】

【数2】

$$C = \begin{pmatrix} a_{11}R_{-2,-2} & a_{12}R_{-2,-1} & a_{13}R_{-2,0} & a_{14}R_{-2,1} & a_{15}R_{-2,2} \\ a_{21}R_{-1,-2} & a_{22}R_{-1,-1} & a_{23}R_{-1,0} & a_{24}R_{-1,1} & a_{25}R_{-1,2} \\ a_{31}R_{0,-2} & a_{32}R_{0,-1} & a_{33}R_{0,0} & a_{34}R_{0,1} & a_{35}R_{0,2} \\ a_{41}R_{1,-2} & a_{42}R_{1,-1} & a_{43}R_{1,0} & a_{44}R_{1,1} & a_{45}R_{1,2} \\ a_{51}R_{2,-2} & a_{52}R_{2,-1} & a_{53}R_{2,0} & a_{54}R_{2,1} & a_{55}R_{2,2} \end{pmatrix}$$

ここで、係数 $a_{ij}$ は状況に依存して選択されるパラメータの組であり、 $R_{ij}$ は以下のように定義される

【数3】

$$R_{ij} = \begin{pmatrix} b_{11}I_{-4,-1} & b_{12}I_{-4,0} & b_{13}I_{-4,1} \\ b_{21}I_{-3,-1} & b_{22}I_{-3,0} & b_{23}I_{-3,1} \\ b_{31}I_{-2,-1} & b_{32}I_{-2,0} & b_{33}I_{-2,1} \end{pmatrix}$$

ここで、 $I_{ij}$ は、画像の番目の列と番目の行におけるピクセルのグレイスケール値であり、 $a_{ij}$ と $b_{ij}$ は経験的に得られるパラメータである。

【0072】好ましい実施例における代表値は以下の通りである。

【0073】

【数4】

$$b_{ij} = \begin{pmatrix} 2 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 2 & 2 & 2 \end{pmatrix} \quad a_{ij} = \begin{pmatrix} 0 & -1 & 2 & -1 & 0 \\ -1 & -2 & -2 & -2 & -1 \\ -2 & -2 & 0 & -2 & -2 \\ 0 & -1 & 2 & -1 & 0 \end{pmatrix}$$

上述した方法で、両画像についてピクセル毎にI、G、P、Cの値を求める。ダイ68のピクセルAに關するこれらのパラメータがダイ70の対応するピクセルBのパラメータと比較され、更にピクセルBに隣接する8個のピクセルのパラメータと比較される。ピクセルBに隣接する各ピクセルについて、少なくとも一つのパラメータがピクセルAの対応するパラメータと所定の許容誤差を越える値だけ相違している場合には、両ダイの欠陥を示すフラッグがピクセルBに付けられる。

【0074】同様にして、ダイ70の各ピクセルのパラメータがダイ68の対応する隣接ピクセルのパラ

メータと比較され、所定の許容誤差を越えて相違しているピクセルに欠陥を示すフラッグが付けられる。

【0075】このアルゴリズムは、上述の米国特許第4,644,172号に開示されているバイブライン・ロジックで実行することができる。行列演算は、100メガピクセル/秒の速度で欠陥データを計算できるバイブライン計算システムに接続されたアプリケーション・スペシフィック・インテグレートッド・サーキット (Application Specific Integrated Circuit (ASIC)) で実行される。

【0076】偏向コンローラ

偏向コンローラ50は、ダイとダイとの比較モードでは、ダイ68の各走査領域60内の等距離グリッド点に電子ビーム100を位置付ける。このようにして得られる検出器129、160、117の出力がダイ70の対応する位置における同じ検出器129、160、117の出力と比較される。同様に、ダイとデータバスとの比較モードでは、データバス・アダプタ54から得られるシミュレートされた画像と、ダイから得られる二次電子検出器117の出力とが比較される。偏向コンローラ50は、図10を参照して以下に説明するように、x-リステージ24及び電子ビーム100の位置を制御して電子ビームの位置付けをする。

【0077】走査領域内の第1のダイを走査する場合には、位置合わせコンデンサ21の出力はゼロに設定される。第1のダイの第1の走査領域の走査中には、不整合は生じないからである。従って、第1のダイの第1の走査領域の走査中には偏向コンローラ50は電子ビーム生成部制御コンデンサ42の出力のみから命令を受け、偏向コンローラ50は、電子ビーム生成部制御コンデンサ42の命令と、x軸及びy軸の両干渉計28から得られる位置データに基づいて、x-リステージ24の望ましい移動量を計算し、この移動量に対応する信号をステージ・サーボ26に送ってx-リステージ24を移動させる。偏向コンローラ50は、同様にしてビーム100の所望の偏向量を計算し、偏向量のデータをアナログ偏向回路30に送る。x-リステージ24が移動すると、その位置はx軸及びy軸の両干渉計28により定期的に監視される。所望のx-リステージ位置と、その位置が見つかると、この不一致に基づいて誤差信号が生成される。この誤差信号は偏向コンローラ50によりステージ・サーボ26に帰還される。x-リステージ24には慣性力が作用するので、誤差が頻繁に生じると誤差信号ではx-リステージの位置を修正することができない。x軸及びy軸の両方向に頻繁に生じる誤差は電子ビーム100の偏向により修正される。この場合、偏向コンローラ50は電子ビーム100の偏向量を計算し、偏向量に対応する信号をデジタル形式でアナログ偏向回路30に送る。

【0078】ビーム100がダイ68を走査すると、グレイスケール値がメモリ・ブロック52に記憶される。電子ビーム100がダイ70を走査し始めると、ダイ70のグレイスケール値がすぐにメモリ・ブロック52に記憶され、欠陥プロセッサ56及び位置合わせコンデンサ21に送られる。位置合わせコンデンサ21では、ダイ68及びダイ70のそれそれからのデータが位置合わせ(位置整合)のために比較される。位置が整合していない場合には、位置整合修正信号が発生されて偏向コンローラ50に送られる。この位置整合信号はビーム100を基板57の正確な位置に位置付ける微調整に使用される。

【0079】ダイとデータバスとの比較モードでは、偏向コンローラ50は、ダイとダイとの比較モードの場合とほぼ同様に動くが、走査領域の第1のダイから得られる入力画像の代わりにデータバス・アダプタ54の出力が用いられる点が相違している。

【0080】偏向コンローラ50は、このモードでもx-リステージ24の移動量、速度、方向、電子ビームの偏向に関するパラメータを計算し規定する。

【0081】位置合わせコンデンサ

位置合わせコンデンサは、グレイスケール値の形式で両デジタル画像を受信して、画像間の位置整合のずれをピクセルの値がなすれとして判定する。位置合わせのための計算の好ましい実施例は、米国特許第4,805,123号に開示されている。この米国特許は1989年2月14日に発行されて、本出願と同じ譲受人に譲渡されたもので、発明者はスペヒト等 (Specht et al) で、発明の名称は「改良された欠陥検出器及び位置合わせサブシステムを有しフォトマスク及びリテクルの目動検査をする装置及び方法 (Automatic Photomask and Reticle Inspection Method and Apparatus Including Improved Defect Detector and Sub-System)」である。この好ましい実施例では、位置整合修正信号51は検査領域全体に亘って連続的に計算される。このようにして算出された位置整合修正信号は位置合わせコンデンサによりメモリ・ブロック52からの画像の移動又は移動及び補間 (サブ・ピクセルの移動) に用いられる。或いは、位置整合のずれが走査中に急激に生じることはないものと仮定して、基板57上の少数の特定特徴点を選択し、選択した特徴点のみに基づいて位置整合のずれを計算しても良い。この場合には、位置整合の計算にフォース・コ

ンピュータ社 (Force Computer, Inc.) のモデル CPU30ZBE のような単一ボード・コンピュータを使用することができる。位置整合修正信号は位置の不整合を減少させるために以後のデータ収束位置をずらすことに使用でき、メモリ・ブロック52から欠陥プロセッサ56に送られる画像間のずれの判定にも使用できる。

【0082】アナログ偏向

アナログ偏向回路30は、20極ブレートで構成されている図7の静電偏向器101及び103用のアラウ勾配関数を生ずる。アナログ偏向回路30の動作は図12に示されている。偏向コンローラ50からのデジタル信号は、勾配 DAC2301 によりアナログ電圧に変換されてから勾配発生器232に導かれる。勾配の大きさ (サイズ) は DAC234 により変更可能で、片番りは DAC236 により制御される。サンプリング及びホールド回路238は勾配の開始の開始に使用され、サンプリング及びホールド回路240は勾配の終了の規定に使用される。高電圧で低ノイズのドライバが波形を増幅してダイナミック・レンジが±180Vの勾配を生じ、この勾配が静電偏向器101、103に印加される。

【0083】メモリ・ブロック

メモリ・ブロック52は3個の同一なモジュールから成り、各モジュールは二次電子検出器117、透過電子検出器129、後方散乱電子検出器160のいずれか一つに対応している。

【0084】図113に概念的に示すように、メモリ・ブロック52の各モジュールは2個の先入れ先出し方式 (First In - First Out) メモリから成る。第1の先入れ先出し方式メモリは各検出器によりダイ68から得られる全走査領域のグレイスケール値を記憶し、第2の先入れ先出し方式メモリは短くて、ダイ70の数の回の走査のみに対応して各検出器により得られるグレイスケール値を記憶する。両先入れ先出し方式メモリからの出力は、欠陥プロセッサ56と位置合わせコンデンサ21に送られる。各先入れ先出し方式メモリは100 MHz の速度で動作し、検出器当り8ビットの精度で各ピクセルのグレイスケール値を記憶する。

【0085】メモリは、検出器毎に画像収集プリ・プロセッサ48から並列に送られてくる8バイトを入力レジスタ302で受け取る。入力レジスタ302はシフト・レジスタのように働くもので、8バイトを右に移してから他の8バイトを受け取る動作を入力レジスタ302の8個のセクションが一杯になるまで繰り返す。入力レジスタ302の8個のセクションが一杯になると、64バイトがメモリ303にクロックで送られる。

【0086】メモリ・ブロックには DRAM303 を使用することができ、通常は128メガバイトが使用される。

【0087】画像収集プリ・プロセッサ

画像収集プリ・プロセッサ48は、各検出器117、160、129からのアナログ信号を100 MHz の速度で8ビット値にデジタル変換し、メモリ・ブロック52に記憶するために出力信号を再フォーマットする。

【0088】画像収集プリ・プロセッサ48は3個の同一のモジュールから成り、その内の一つが図14に示されている。各モジュールは対応する検出器からの出力を受け取り、受け取った出力を8ビットにデジタル化し (AD変換器9)、多重化器11に送る。多重化器11の目的は、同じピクセルからのグレイスケール値を平均化してノイズを減少させることにある。ある場合には、同一ピクセルを数回にわたって走査して得られた結果、即ち、サンプリングして得られた結果が、そのピクセルの平均値になる。この値はシフト・レジスタ13に送られる。シフト・レジスタ13は8バイトをシリアルに受け取り、受け取った8バイトをメモリ・ブロック52にシリアルに送る。

【0089】干渉計

x-リステージ24はx軸及びy軸の位置がテラトラックTPS V (Teletac TPS V) のようなx-y干渉計28により監視される。x-リステージ24の位置は、最下位ビットが約2.5 ナノメートルに対応している28ビットの精度で規定される。

【0090】システム・コンピュータ

検査システム10の全体の制御はシステム・コンピュータ36によってなされる。システム・コンピュータ36は他の段取りタスクを含めて種々様々な一連の工程を順序立てて実行する。一つながりになっている各工程はいずれもプログラムに従って所定の時間に達成される。数種類の一連の工程が相互に矛盾しない場合には、システム・コンピュータ36の処理能力が最大になるように、相互に矛盾しない数種類の一連の工程を同時に実行する。

【0091】システム・コンピュータ36が実行するルーチンは、マウスやトラック・ボール・ポインティング・デバイスと備えたユーザ・キーボード40を介してか、遠方のコンピュータとのデータ通信によりシステムとユーザとが対話できるように設計されている。局所との対話の場合には、コンピュータ

ディスプレイ38にシステム・コンピュータ36からのグラフィックやテキストが表示される。

【0092】システム・コンピュータ36のルーチンは、4つの通信タスクに組織化されている。

【0093】1. 電子ビーム生成部制御コンピュータ42、ポスト・プロセッサ58、基板ハンドラ34と通信をするマスター・タスク。このタスクは、レンズの設定や、真空圧や、ビーム流等の装置動作パラメータを記録しているファイルをシステム・コンピュータに保持する。

【0094】2. コンピュータ・ディスプレイ38上の表示を管理し、ユーザ・キーボード40及びマウスからの入力を受け取りユーザ・インターフェース・タスク。このタスクは、ユーザ・キーボード40やマウスからの入力に応じてデータ・ファイルを変更したり、メッセージをシステムの他の部分に伝送して処理を開始させたりする。

【0095】3. 画像収集用検査領域の特徴をマスター・タスクを介して電子ビーム生成部制御コンピュータ42に伝送する検査タスク。

【0096】4. ユーザ・キーボード40からのコマンド入力を可能にするコマンド言語解釈タスク。このタスクは繰返し動作の自動スケジューリングを可能とするタイマーの管理もする。更に、このタスクは、装置の動作や動作の生じる時間が記録されているテキスト・ログファイルの生成及び更新の処理をする。このタスクは通常サービシス・エンジニアが装置を制御する際のみ使用される。

【0097】システム・コンピュータの例として、ユニックス・オペレーティング・システム(UNIX operating system)の下で動作するサン・マイクロシステムズ社のスパーク・プロセッサ(Sun Microsystems SPARC processor)がある。ユニックス(UNIX)はAT&T社の登録商標である。

【0098】電子ビーム生成部制御コンピュータ

電子ビーム生成部制御コンピュータ42は、オートフォーカス・コンピュータ、真空制御コンピュータ、偏向指令コンピュータから成る。オートフォーカス・コンピュータについては「オートフォーカス・システム」の項で機能と具体例を説明し、真空制御コンピュータについては「真空システム」の項で機能と具体例を説明する。

【0099】電子ビーム生成部制御コンピュータ42は、システム・コンピュータ36から指令を受ける。

【0100】電子ビーム生成部制御コンピュータ42には、フォース・コンピュータ(Force Computer, Inc.)が製造しているCPU 302BE のような68030 ベースの単一ボードのコンピュータを使用することができ。

【0101】ポスト・プロセッサ

ポスト・プロセッサ58は、欠陥プロセッサ56から、総ての欠陥ピクセルを示すマップを抽出器毎に受信する。ポスト・プロセッサ58はこれらのマップを結び付けて、欠陥毎にサイズと位置を決定し、欠陥の種類に応じて分類する。このようにしてシステム・コンピュータ36によって利用可能なデータが得られる。ポスト・プロセッサ58には、フォース・コンピュータ(Force Computer, Inc.)が製造しているCPU 302BE のような68030 ベースの単一ボードのコンピュータを使用することができ。

【0102】ビデオ・フレイム・バッファ

ビデオ・フレイム・バッファ44は、ピクセル1個当たり12ビットで、480×512 個のピクセルを記憶できる記憶容量を有している商業的に入手可能なビデオ・フレイム・メモリである。適切なフレイム・バッファとしてはイメージ・テクノロジー社(Image Technology, Inc.)のモデルFG100Vを挙げることができ。ビデオ・フレイム・バッファは画像ディスプレイを1秒間に30回リフレッシュする。

【0103】画像ディスプレイ

画像ディスプレイ46は、ソニー社のモデルPVM 1342Q のような、商業的に入手可能なカラー・モニタである。疑似カラー技術を用いてオペレータが画像を容易に評価できるようにしている。疑似カラー技術は白黒画像の灰色の濃淡値に異なる色を割り当ててものである。

【0104】データベース・アダプタ

データベース・アダプタ54は、ダイに形成するパターン設計に使用した計算機援用設計データに基づいて各ピクセルに対応するグレイスケールを生成する画像シミュレータである。データベース・アダプタの入力装置の典型は、集積回路のパターン形成に使用するフォーマットのデジタル磁気テープである。デジタル・データは、画像収集グリッド・プロセッサ48の出力と同じフォーマットで走査領域を表す一連のピクセル・データに変換される。このようなデータベース・アダプタは、米国特許第4,926,489号に既に開示されている。米国特許第4,926,489号は、1990年5月15日に発行され、本出願と共に譲渡されており、発明者はダニエルソン等(Danielson et al)であり、発明の名称は「レチクル検査システム(Reticle Inspection System)」である。

【0105】基板ハンドラ

基板ハンドラ34は、カセットから基板57を自動的に取り出して、取り出した基板を適切な方向に向けて基板ホールダに配置する機能を有するものであり、半導体産業でウェーハの搬送や取り

扱いに通常使用されているウェーハ・ハンドラに類似したロボット工学装置である。基板ハンドラ34は、図2及び図3に示されている平らなノッチ59を先ず検知する。基板ハンドラ34は、基板57の回転の中心から半径方向に延びるリニアCDDセンサーで光学的に平らなノッチ59を検知する。基板が回転すると、リニアCDDセンサーの出力がデジタル形式に変換されて、フォース・コンピュータ(Force Computer, Inc.)のCPU 302BE のような単一ボード・コンピュータに記憶される。このコンピュータは平らなノッチ59の位置を判定する。基板57は適切な方向を向くまで回転され、基板ホールダに自動的に配置される。基板57を保持した基板ホールダは、図11の負荷エレベータ210に載せられる。基板ハンドラの動作は総てシステム・コンピュータ36により制御される。

【0106】x-y-zステージ

x-y-zステージ24は、電子ビーム100及び位置合わせ用光学系22の下で基板57を移動させるものである。システムの複雑さを最小にするために、x-y-zステージ24は自由度がx軸方向及びy軸方向の2度に設定されている。即ち、x-y-zステージ24は回転することもできない。基板57のx-y平面に垂直な方向に移動することもできない。x-y-zステージはx軸方向、y軸方向、斜め方向に移動できるだけである。電子ビーム・ラスタの回転は、走査をビームの2種類の静電偏向成分に分解し、x-y-zステージを機械的サーボによりx軸方向、y軸方向、斜め方向に移動させることにより、電子的に達成される。対物レンズが基板の高さ方向の変化の補償に充分な範囲の可変焦点を有しているため、z軸方向の移動は不要である。

【0107】x-y-zステージ24は、直線移動、直角移動、繰返しを非常に精密に制御できる装置である。交差して配置されたローラ・ベアリングが使用されている。x-y-zステージは真空状態でも使用でき、電子ビーム100と干渉しないように非磁性体で構成されている。透過電子ビーム108がx-y-zステージ24の下で透過電子検出器129に到達できるように、x-y-zステージはオーブン・フレイムを有している。オーブン・フレイムは、載置プロセスにおいて基板57を下からオーブン・フレイム上に配置するためにも使用される。

【0108】図示していない三相ブラシレス・リニアモータを軸当り2個使用してx-y-zステージ24を駆動することにより、最良のシステム機能達成するようにしている。適切なリニアモータとしては、アナロッド社(Anorad Inc.)が製造しているアナライン・モデルL1及びL2(Anoline model L1 and L2)を挙げることができる。

【0109】真空システム

真空システム全体は電子ビーム生成部制御コンピュータ42の制御下にある。図示していないがシステムの種類々の場所には通常の圧力センサーが配置されていて、圧力を測定し、測定結果を電子ビーム生成部制御コンピュータ42に通知している。この電子ビーム生成部制御コンピュータ42が、開始時或いは基板の載置又は取り出し中に、必要に応じて種々の弁を順次制御する。弁の順次制御ルーチンは、「載置動作」の項で詳しく説明する。真空状態が不十分で電子ビームの動作に不適切である場合には、高電圧を自動的に遮断して、熱的電界放出カソード81が損傷を受けるのを防止している。この動作は、電子ビーム生成部制御コンピュータ42、システム・コンピュータ36、圧力センサーの組み合わせにより実行される。同時に空気仕切弁145(図9と図11)が作動して、電子ビーム生成部20の超高真空領域140の汚染を防止する。真空システムの動作を以下に説明する。

【0110】電子銃の真空システムは、補強しなくても潰れないように設計されていて別々に排気される2段式システムである。約10<sup>-9</sup>トルの超高真空領域140はアノード・アパーチャ87により仕切られていて、イオン・ポンプ139により排気される。約10<sup>-8</sup>トルの中間の真空領域141は、空気ガン仕切弁145及びビーム制限アパーチャ99により主要真空領域143から仕切られていて、イオン・ポンプ149により排気されている。以上の真空諸要素により電界放出に最適な環境が得られる。

【0111】主要真空領域143はターボ・ポンプ204により真空状態に維持され、検査チャンバ206はターボ・ポンプ208により真空状態に維持される。検査チャンバ206は、プレートにより主要真空領域143から仕切られている。このプレートには電子ビームが通過する小さな孔が開けられていて、このように検査チャンバ206と主要真空領域143とが仕切られているので、検査対象である基板がかなりの蒸気圧を有する光硬化性物質で被覆されていても、高真空状態を維持することができる。

【0112】真空システムは2個のエアロック224及び226を有している。一方は基板57を検査チャンバ206に配置するために使用され、他方は検査終了後に基板57を取り出すために使用される。両エアロックはいずれも並列に配置されている弁212及び214を介して真空ポンプ220に連

通している。弁212はエアロック224を低速で排気するためのもので、弁214は大きな開口を有して大容積を排気することができる。同様の機構がエアロック226にも設けられている。この排気機構は構成が同じなので同一の参照符号で図示してある。同じ構成の排気機構を二重に設けた目的は、荷電粒子が排気処理により攪乱されるのを防止し、しかもチャンバの排気や加圧に必要な時間を短くするためである。

【0113】以下に詳細に説明するように、基板57がエアロック224に載置されると、先ず低速排気の弁212だけが開く。これによりチャンバ内の流速はエアロック224の領域の荷電粒子を攪乱しないように十分に低く維持される。チャンバ内の圧力が低下して空気流が自由分子流領域の水準、即ち、荷電粒子がもはや攪乱されない領域の水準に達すると、大容積排気の弁214を開いて、エアロック内に残っている空気を急速に排気する。同様の2段階動作が加圧処理にも使用されている。但し、加圧処理では両エアロック224、226のそれぞれについて高速及び低速の両通気用に更に別の一組の弁228及び230が設けられている。

【0114】載置動作

以前に説明したように、基板57は基板ハンドラ34の基板ホルダに保持されて、載置エレベーター210に搭載される。この時、エアロック224は大気圧状態にある。エアロック224を低速で排気する弁212が開く。エアロック224の圧力が分子流の圧力に達すると、大容積排気の弁214が開き、残りの空気が排気される。ここでゲート弁216が開いて、載置エレベーター210はゲート弁216を通して基板57及び基板ホルダを検査チャンバ206にまで押上げて、ステージ24に載置する。基板57の検査が終了すると、逆の順序で基板57は基板収納用カセットに再び収められる。

【0115】或いは、基板のカセットを同様の方法でチャンバに載置することもできる。チャンバに載置したカセットに収納されている基板の総てについて検査が終了すると、カセットをチャンバから除去して、別のカセットと交換する。

【0116】更に、本発明は二重エアロック構成なので、一方のチャンバ内である基板を検査しながら、同時に他方のチャンバを使用して、別の基板の装着及び加圧をしたり、減圧及び除去をしたりすることができる。

【0117】オートフォーカスシステム

電子ビーム100は、図7に示したシステムの対物レンズ104の電流を変化させることにより収束される。基板は必ずしも平坦ではなく、x-yステージ24の表面は電子ビーム生成部20の軸に完全に垂直ではないかも知れないので、最適な焦点電流は検査領域全体に渡って変化する。しかしこの変化はx及びyの両軸方向の距離の関数としては遅いので、基板57上の数個の指定点で最適なフォーカス電流を決定することができる。指定点の間の任意の点については補間により所望のフォーカス電流を決定することができる。

【0118】検査処理の準備及び開始手続きの工程として、指定点での最適なフォーカス電流の測定が行われる。このフォーカス較正処理は、ビームを指定点に位置付ける工程と、基板57の特定のエッジに垂直な直線に沿ってグレイスケール値を測定する工程とから成る。例えば、フォーカス電流の10個の異なる値に対して、デジタル化されたグレイスケール値は、図示していない高域フィルタで量り込まれる。最良のフォーカス電流は、高域フィルタの出力の内最大の値に対応した電流である。好ましい実施例では、以下の量り込み係数と共に二次微分フィルタを使用している。

【0119】-4 0 0 0 8 0 0 0 -4

最良の効果を得るには高域フィルタの出力を平滑化しなければならない。

【0120】フォーカスコンピュータは電子ビーム生成部制御コンピュータ42の一部である。焦点の計算は、量り込み集積回路と数個のDSP素子とから成る特別な目的のハードウェアで実行される。

【0121】位置合わせ用光学系

位置合わせ用光学系22は、ダイが検査チャンバに入った後に、ダイの粗い位置合わせを視覚的に実行するために、オペレータによって使用される。サブシステムは、真空チャンバに面するウィンドウと、ディスプレイ46に表示するためのCCDカメラに画像パターンを投影するレンズとから成る。オペレータは2個のレンズのうちの一つを選択できる。本発明では、経験により一方のレンズの倍率を0.46に、他方のレンズの倍率を5.8に設定してある。基板からの汚れが光学面に付着するのを防止するために、レンズは真空領域の外部に置かれている。

【0122】SEMアライズマ・クリーナ

本発明の電子ビーム装置が作動すると、近接相互作用(表面近くでの粒子の帯電)により爆発物

質が蒸発して高圧領域に引きつけられるので、電子ビームの形成や偏向に使用される様々な電極には有機物質が堆積する。表面の帯電により徐々に堆積した絶縁体は電子ビームの形成や偏向機構に悪影響を及ぼすので、堆積した絶縁体は周期的に除去しなければならない。絶縁体の周期的な除去は絶縁体の堆積する領域の近傍に酸化プラズマを形成することにより達成される。

【0123】酸化プラズマの形成には、洗浄プラズマの形成のための主要なガスとして酸素が用いられる。図11に関して、酸素供給器199が中間の真空領域141及び主要真空領域143のそれぞれの上方又は下方に弁193を介して連通している。静電容量式圧力計197で圧力測定しながら質量流量制御装置195により流量調節している。酸素の圧力を調節して、イオン化のための平行自由工程の異なる電極を1本ずつ順次選択して、即ち、動作空間内の他の領域の洗浄に必要な他の電極を選択して、RFエネルギーを選択した電極にカップリングし、プラズマの励起を選択した電極に限定する。放電領域内の空間的プラズマ密度を厳密に制御して、空間的プラズマ密度を電極面のスベッタ電位のすぐ下の水準に維持することにより、有機物質のみを酸化させることができ、これは高周波で電極が頻りにバイアスされるのを抑え、RF電力水準を正確に、電圧を制限することにより達成することができる。

【0124】次に、図15を参照して説明する。通常の電極経路の接続は総てがリレー191により高周波コンパチブル多重リレー179に切り換えられて、体積物を除去する必要のある電極や、他の領域や、素子にRFエネルギーが順次照射される。高周波RF電力発生器173が起動されて、電力後出器175及び出力電圧後出器178により平滑化された出力を出す。平滑化されたRF出力を自動整合網177により適切な電圧、電流、移相関係に変換して、プラズマ放電の開始に十分な電子なれを引き起こすと共に維持されている放電負荷の共役整合の実施をする。

【0125】同様に、プラズマにより符号171のような別の表面や電極をも洗浄することができ、

【0126】以上、数種の動作モード及び典型的なルーチン及び実施例の装置に沿って本発明を説明したが、当業者であれば以上の説明及び図面に示されている内容から種々の変更を施して本発明を実施できることはいうまでもない。

1 [図面の簡単な説明]

【図1】本発明のシステム全体のブロック図。

【図2】ダイとデータベースとの比較検査に使用する走査パターンの概略図。

【図3】ダイとダイとの比較検査に使用する走査パターンの図。

【図4】幾つかの走査領域にわたって平均化されている画像を得るための多重フレーム走査統合技術の図。

【図5】図4に示した走査における電子ビームの公称x軸方向の偏向値を時間の関数として示した図。

【図6】図4に示した走査における基板状の電子ビームのx座標を時間の関数として示した図。

【図7】電子ビーム生成部及び収集システムの機能素子を示す概略図。

【図8】図7に示した電子ビーム生成部及び収集システムを通過する一次電子、二次電子、後方散乱電子、透過電子の経路を示す概略図。

【図9】マルチヘッド電子銃と真空系の概略図。

【図10】本発明の位置決め制御システムのブロック図。

【図11】本発明の真空システムの概略図。

【図12】本発明のアナログ偏向システムのブロック図。

【図13】図1に示した本発明のメモリのブロック図。

【図14】本発明の画像収集プリ・プロセッサのブロック図。

【図15】プラズマ酸化サブ・システムの電気的構成要素を示すために図7の電子ビーム生成部を修正して示す概略図。

【符号の説明】

10…検査システム

20…電子ビームコラム

21…位置合わせコンピュータ

22…位置合わせ光学系

23…シータバス

24…x-yステージ

26…ステージ・サーボ

28...干渉計  
29...VME1  
30...アナログ偏向回路  
31...VME2  
32...検出器  
33...信号  
34...基板ハンドラー  
36...システム・コンピュータ  
38...コンピュータ・ディスプレイ  
40...ユーザ・キーボード  
42...コラム制御コンピュータ  
44...ビデオ・プレーム・バッファ  
46...画像ディスプレイ  
48...画像捕獲(アクイジション)前置プロセッサ  
50...偏向コントローラ  
52...メモリ・ブロック  
54...データベース・アダプタ  
56...欠陥プロセッサ  
57...基板  
58...ボスト・プロセッサ

1 【代表図面】 【図1】 【図2】 【図3】 【図4】 【図5】 【図6】 【図9】 【図14】 【図7】 【図8】 【図10】 【図13】 【図11】 【図12】 【図15】

フロントページの続き

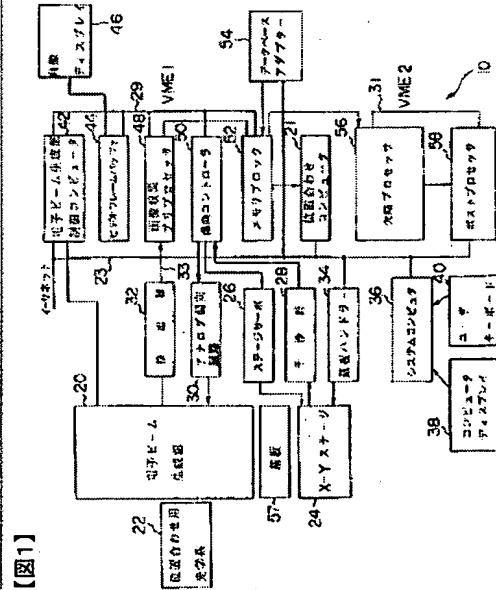
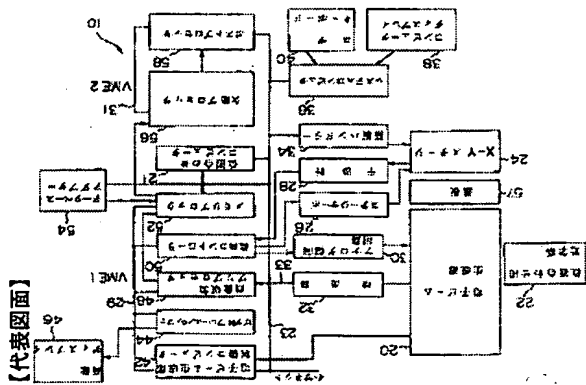
(51)IntCl.<sup>7</sup> 識別記号 FI チャーコード(参考)  
G03F 1/08 H01L 21/66 J  
1/16 G01R 31/28 M  
H01L 21/027 L  
21/66 H01L 21/30 502V

(72)発明者 ダン・マイスバーガー  
アメリカ合衆国、カリフォルニア州  
95120、サン・ホセ、モンタルバン・ドライブ 1507  
(72)発明者 アラン・ディー・ブローディー  
アメリカ合衆国、カリフォルニア州  
94303、バロ・アルト、バン・オーケン、サークル 998  
(72)発明者 アニル・エー・デサイ  
アメリカ合衆国、カリフォルニア州  
95131、サン・ホセ、フォークス・ドライブ 1703  
(72)発明者 デニス・ジー・エム・ゲ  
アメリカ合衆国、カリフォルニア州  
95127、サン・ホセ、グリッドレイ・ストリート 951  
(72)発明者 ツォン - ウエイ・チェン  
アメリカ合衆国、カリフォルニア州  
94306、バロ・アルト、アバートメント 204、ターマン・ドライブ 4260

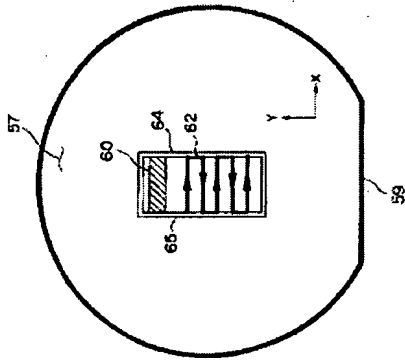
先頭に戻る

(72)発明者 リチャード・シモンズ  
アメリカ合衆国、カリフォルニア州  
94022、ロス・アルトス、アルバード・アベニュー 44  
(72)発明者 デーブ・イー・エー・スミス  
アメリカ合衆国、カリフォルニア州  
94403、サン・マテオ、キングリッジ・ドライブ 4022  
(72)発明者 エイプリル・ダッタ  
アメリカ合衆国、カリフォルニア州  
95035、ミルピタス、パーク・グローブ・ドライブ 1151  
(72)発明者 ジェイ・カークウッド・エイチ・ラフ  
アメリカ合衆国、カリフォルニア州  
95112、サン・ホセ、エス・フォーティーン・ストリート 264  
(72)発明者 レスリー・エー・ボンフィ  
アメリカ合衆国、カリフォルニア州  
94087、エス・ブイ、モニングサイド・ドライブ 1295  
(72)発明者 ヘンリー・ピアース - パーシ  
アメリカ合衆国、カリフォルニア州  
95030、ロス・ガトス、スカイビュー・テラス 23415  
(72)発明者 ジョン・マクマートリー  
アメリカ合衆国、カリフォルニア州  
94025、メンロ・パーク、コットン・ストリート 650  
(72)発明者 エリック・マンロー  
イギリス国、エスタブリュ7、ロンドン、コーンウォール・ガーデン 14、フラット 1  
Fターム(参考) 2G001 AA03 AA09 BA07 BA11 BA15  
CA03 FA06 GA01 GA06 GA13  
HA13 JA02 JA03 JA13 KA03  
LA11 MA05 PA01 PA02 PA13  
2G132 AA00 AD15 AE16 AE22 AF12  
AL09 AL11  
2H095 BA10 BD04 BD14 BD27  
4M106 AA01 BA02 CA39 DB05 DB20  
DJ18 DJ20

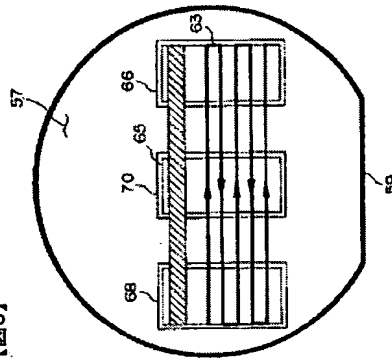




【図2】



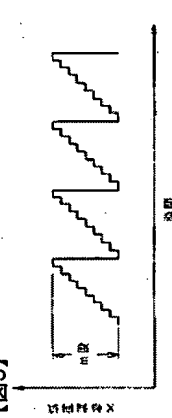
【図3】



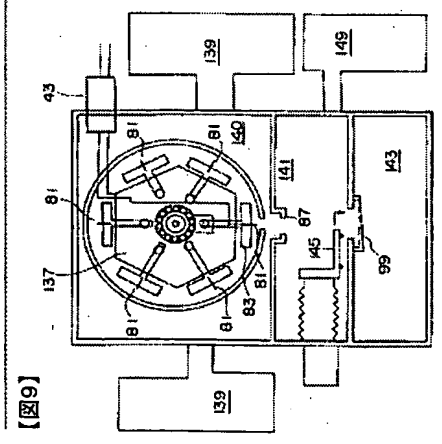
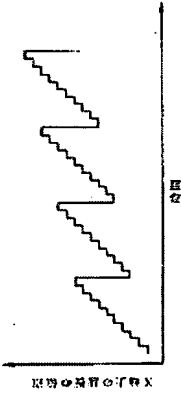
【図4】

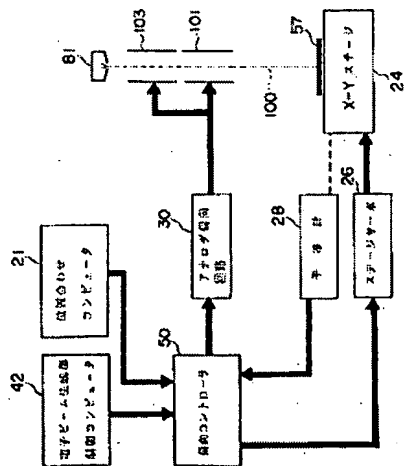


【図5】

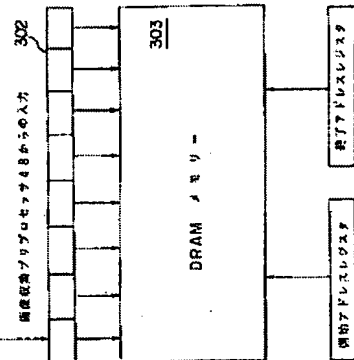


【図6】

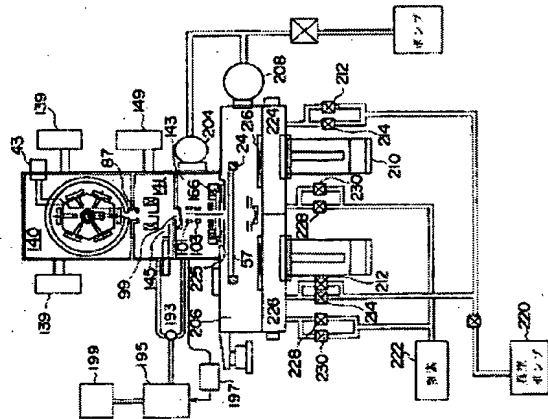




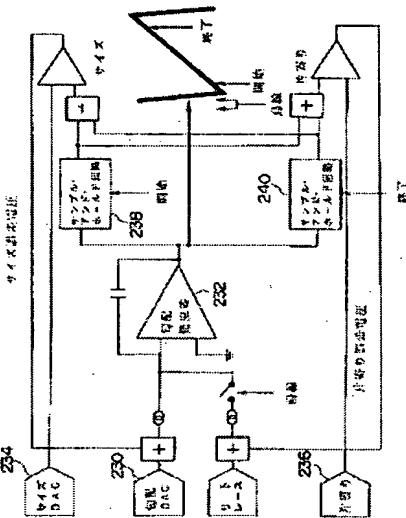
【図 11】



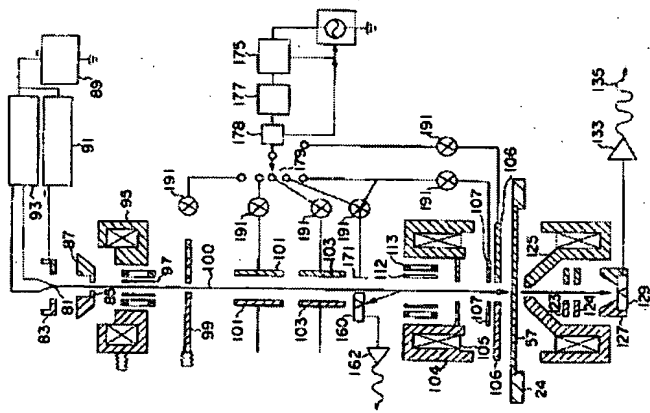
【図 13】



【図 12】



【図 15】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☐ BLACK BORDERS

☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES

☒ FADED TEXT OR DRAWING

☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING

☐ SKEWED/SLANTED IMAGES

☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS

☐ GRAY SCALE DOCUMENTS

☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT

☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY

☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**